



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**REVISIÓN Y ANÁLISIS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
DISEÑADAS POR EL MÉTODO MARSHALL, A TRAVÉS DE LA
METODOLOGÍA RACIONAL DE ANÁLISIS DE DENSIFICACIÓN Y
RESISTENCIA DE GEOMATERIALES COMPACTADOS
(RAMCODES).**

Para optar al título de Ingeniero Civil.

Elaborado por

Br. Marcos Lenin Roque Mendoza.
Br. James Francisco Herrera Largaespada.

Tutor

Ing. Dr. Ing. Oscar Isaac Gutiérrez Somarriba.

Managua, Mayo 2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION

Managua, marzo 06 del 2017

Ingeniero
JHORQUIN URIEL GAITAN
Coordinador Formas de Culminación de Estudios
Su despacho

Estimado Ingeniero:

Sirva la presente para comunicarle que he revisado el Trabajo Monográfico titulado "REVISION Y ANALISIS DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE DISEÑADAS POR EL METODO MARSHALL, A TRAVES DE LA METODOLOGIA RACIONAL DE ANALISIS DE DENSIFICACION Y RESISTENCIA DE GEOMATERIALES COMPACTADOS (RAMCODES)" sustentado por los Bachilleres MARCOS LENIN ROQUE MENDOZA Y JAMES FRANCISCO HERRERA LARGAESPADA, para optar al título de Ingenieros Civiles.

Este trabajo cumple con los requisitos para su presentación y defensa por parte de los bachilleres en mención, se desarrollan adecuadamente conforme los objetivos planteados, tiene coherencia metodológica y establece conclusiones de acuerdo a los resultados obtenidos.

Sin más a que referirme, me suscribo.

Atentamente,


DR. ING. OSCAR GUTIERREZ SOMARRIBA
Tutor

DEC-FTC-REF-No. 1551
Managua, noviembre 09 de 2016

Bachilleres
MARCOS LENIN ROQUE MENDOZA
JAMES FRANCISCO HERRERA LARGAESPADA
Tesisistas
Presente

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema Monográfico titulado **“REVISION Y ANALISIS DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE DISEÑADAS POR EL METODO MARSHALL, A TRAVES DE LA METODOLOGIA RACIONAL DE ANALISIS DE DENSIFICACION Y RESISTENCIA DE GEOMATERIALES COMPACTADOS (RAMCODES)”**, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, en ser el tutor de su Monografía.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 09 de Mayo del 2017.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,



Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano

CC: Ing. Jhorquin Uriel Gaitán.- Formas de Culminación de Estudios
Protocolo
Tutor
Archivo*Consecutivo
DIOGS*mary

AGRADECIMIENTO

Ante todo agradecemos primeramente a Dios, por su amor Creador y Redentor, por los dones y bienes que nos proveyó para la realización de este documento.

A nuestros padres y familiares por todo el apoyo moral, espiritual y económico que nos brindaron.

A nuestro tutor, Dr. Ing. Oscar Isaac Gutiérrez Somarriba por su excelente disposición y tiempo para colaborar en el desarrollo y culminación del trabajo monográfico.

Al Ing. Carlos Manuel López Hernandez por su paciencia, motivación, apoyo y seguimiento en el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Bismark Alfonso Castillo Berrios por su comprensión y apoyo para la elaboración de este documento.

Al Ing. Ervin Vílchez jefe de laboratorio INSUMA quien con su dedicación y paciencia colaboro sustancialmente en la finalización de esta investigación.

Al Ing. Leonel Corea por su valiosa colaboración al facilitar los protocolos y personal técnico calificado para la elaboración de esta investigación.

Finalmente a la Universidad de Ingeniería y a nuestros profesores que se encargaron durante muchos años de nuestra formación académica.

DEDICATORIAS

A Dios sobre todas las cosas, ser Supremo y guía de mi vida en todo momento y lugar .A mi Madre Brenda Mendoza por su incondicional apoyo moral, espiritual y económico brindado a lo largo de estos años; a mi esposa Aura Espinoza Gutierrez quien es un pilar en mi vida, por su amor, comprensión y compañía; a mis hijos Marcos Roque Espinoza y Rodrigo Roque Espinoza, quienes son fuente de inspiración y motor de mi vida.

Br. Marcos Lenin Roque Mendoza

A Dios, mi Padre y Redentor, en quien encuentro una respuesta y acude a mi llamado en todo momento. A mi madre Sandra Largaespada Pérez quien me dio su apoyo, confianza y la fuerza necesaria para seguir adelante; a mi esposa Karen Aguilar Fonseca quien es mi apoyo incondicional, sol de mi vida y consejera fiel; a mi hija Fernanda Alessandra Herrera motor de mi existencia, luz de mis ojos, el mayor de mis tesoros; a mis hermanos fuente de gozo y cariño.

Br. James Francisco Herrera Largaespada

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento monográfico muestra el diseño de tres Mezclas Asfálticas en Caliente por el Método Marshall con agregados propios de Nicaragua provenientes de tres bancos; el Portillo, Veracruz y Xiloá, Ciudad Sandino ambos ubicados en el departamento de Managua y Millones ubicado en el departamento Región Atlántica Sur. Se determinó para cada mezcla su porcentaje óptimo de asfalto y propiedades mecánicas. Esto con la finalidad de aplicar la Metodología RAMCODES para la revisión y análisis de dichos diseños.

Se presenta una visión de la importancia de esta nueva Metodología para su implementación en Nicaragua y las razones fundamentales que motivaron la necesidad de realizar este estudio e investigación, entre las cuales están: la optimización del tiempo, uso racional de los materiales y agilización en la obtención de resultados en los laboratorios en el diseño de mezclas asfálticas.

A continuación, se realiza una descripción de los principales conceptos que describen el manejo y uso adecuado de los materiales pétreos (agregados); granulometría y especificaciones técnicas que deben cumplir, los ligantes asfálticos, las mezclas asfálticas; características y clasificación, el Método Marshall, finalizando con el estudio y aplicación de la Metodología RAMCODES y obtención de resultados.

Acrónimos

AASHTO:	Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte
ASTM :	Sociedad Americana para ensayo de materiales
°C:	Grado Celsius
°F:	Grado Fahrenheit
Gmb:	Gravedad específica bulk de la mezcla
Gmb_{avg}:	Gravedad específica bulk promedio de los agregados
Gsb:	Gravedad específica bulk de los agregados
Gse:	Gravedad específica efectiva de los agregados
INSUMA:	Instituto de Suelos y Materiales S.A.
M.A.C.:	Mezcla Asfáltica en Caliente
Pb:	Porcentaje de asfalto en la mezcla
Pb_{avg}:	Porcentaje promedio de asfalto en la mezcla
Plg:	Pulgada
RAMCODES:	Metodología Racional de Análisis de Densificación y Resistencia de geomateriales Compactados
SHRP:	Strategic Highway Reserch Program
SIECA:	Secretaría de Integración Económica Centroamericana
Va:	Vacíos de aires o vacíos totales
VFA:	Vacíos llenados de asfalto o saturación
VAM o VMA:	Vacíos en Agregado Mineral

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
CAPITULO II: MARCO TEORICO	6
2.1. Materiales Pétreos.....	6
2.2. Origen de los materiales granulares.....	7
2.3. Banco de Préstamo.....	7
2.4. Definición de agregado.....	8
2.5. Tipos de agregados.....	8
2.6. Conceptos más frecuentes relacionados a los agregados.....	9
2.7. Importancia del muestreo de un agregado.....	11
2.7.1. Generalidades.....	11
2.7.2. Reducción de los Agregados.....	12
2.8. Propiedades de los agregados que se utilizan en M.A.C.....	13
2.9. Análisis Granulométrico.....	22
2.9.1. Generalidades.....	22
2.9.2. Métodos utilizados para determinar la granulometría.....	26
2.10. Especificaciones Técnicas para agregados utilizados en M.A.C.....	28
2.10.1. Requisitos que deben cumplir los agregados grueso y fino.....	29
2.10.2. Ensayos realizados a los agregados grueso y fino para ocuparlos en M.A.C.....	31
2.10.3. Combinación de los agregados.....	32
2.11. Ligantes Asfálticos.....	34

2.11.1. Generalidades.....	34
2.11.2. Definición de Asfalto.....	34
2.11.3. Asfaltos Modificados.....	35
2.12. Mezcla Asfáltica.....	36
2.12.1. Características y comportamiento de la Mezcla Asfáltica.....	37
2.12.2. Clasificación de las Mezclas Asfálticas.....	42
2.13. Evaluación y Ajustes en el diseño de una mezcla.....	46
2.14. Método Marshall de diseño de M.A.C.....	49
2.14.1. Resumen del Método.....	50
2.14.2. Interpretación de datos del ensayo.....	63
2.14.3. Tendencias y relaciones de los datos de ensayo.....	64
2.14.4. Determinación preliminar de contenido de asfalto del diseño.....	68
2.14.5. Selección del diseño de mezcla final.....	70
2.15. Lineamientos generales para ajustar las mezclas de prueba.....	72
2.16. Metodología Racional de Análisis de Densificación y Resistencia de Geomateriales Compactados (RAMCODES).....	74
2.16.1. Aplicaciones a Mezclas Asfálticas.....	75
CAPITULO III. DISEÑO METODOLOGICO	85
3.1. Revisión de la literatura.....	85
3.2. Caracterización de los Agregados Pétreos.....	85
3.3. Diseño de M.A.C. por el Método Marshall.....	86
3.3.1. Proceso de laboratorio.....	87
3.3.2. Interpretación de los datos del ensayo.....	88
3.3.3. Determinación del contenido de asfalto de diseño.....	88
3.4. Análisis de los diseños Marshall con la Metodología RAMCODES.....	89
CAPITULO IV. ANALISIS Y RESULTADOS	90
4.1. Diseños de M.A.C. con el Método Marshall.....	90
4.2. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados grueso y fino de las mezclas.....	91

4.3. Granulometría de los agregados para las mezclas asfálticas.....	93
4.4. Combinación de agregados grueso y fino.....	94
4.5. Representación gráfica de las curvas granulométricas de los bancos en estudio.....	94
4.6. Cemento asfáltico utilizado en los diseños de M.A.C.....	95
4.7. Resultados de los diseños de M.A.C. con el Método Marshall.....	96
4.8. Análisis de las curvas de propiedades de los 3 diseños de M.AC.....	97
4.8.1. Estabilidad (Norma: mínimo 1800 lb).....	97
4.8.2. Flujo (Norma: 8-14 mm).....	99
4.8.3. Peso Unitario.....	100
4.8.4. Vacíos en el Agregado Mineral (Norma: mínimo 15%).....	102
4.8.5. Vacíos Totales (Norma Va: 3%- 5%).....	103
4.8.6. Vacíos llenados de asfalto (Norma: 65%-75%).....	104
4.9. Contenido de asfalto a través de RAMCODES.....	105
4.10. Análisis del diseño de MAC-1-AC.....	106
4.10.1. Calculo de Gse a partir de los datos obtenidos del diseño.....	107
4.10.2. Solución del sistema de ecuaciones.....	108
4.10.3. Resultados obtenidos.....	110
4.10.4. Porcentaje de asfalto diseño MAC-1-AC.....	111
4.10.5. Calculo de los VAM y los VFA a partir de Pb y Gmb obtenidos.....	111
4.10.6. Superposición del polígono de vacíos en el mapa de estabilidad.....	112
4.10.7. Superposición del polígono de vacíos en el mapa de Flujo.....	113
4.11. Análisis del diseño de MAC-2-PG.....	114
4.11.1. Calculo de Gse a partir de los datos obtenidos del diseño.....	115
4.11.2. Solución del sistema de ecuaciones.....	116
4.11.3. Resultados obtenidos.....	118
4.11.4. Porcentaje de asfalto diseño MAC-2-PG.....	119
4.11.5. Calculo de los VAM y los VFA a partir de Pb y Gmb obtenidos.....	119
4.11.6. Superposición del polígono de vacíos en el mapa de estabilidad....	120
4.11.7. Superposición del polígono de vacíos en el mapa de Flujo.....	121

4.12. Análisis del diseño de MAC-3-AC.....	122
4.12.1. Calculo de Gse a partir de los datos obtenidos del diseño.....	123
4.12.2. Solución del sistema de ecuaciones.....	124
4.12.3. Resultados obtenidos.....	126
4.12.4. Porcentaje de asfalto diseño MAC-3-AC.....	127
4.12.5. Calculo de los VAM y los VFA a partir de Pb y Gmb obtenidos.....	127
4.12.6. Superposición del polígono de vacíos en el mapa de estabilidad....	128
4.12.7. Superposición del polígono de vacíos en el mapa de flujo.....	129
4.13. Resumen de las propiedades de los diseños de M.A.C. por el Método Marshall y Metodología RAMCODES.....	130
4.14. Comparativo de costos de diseño de M.A.C. por el Método Marshall vs Diseño Metodología Ramcodes.....	131
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
5.1 Conclusiones.....	132
5.2 Recomendaciones.....	134
BIBLIOGRAFIA	135
ANEXOS	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tamaño de Muestras	12
Tabla 2: Composición Típica del Concreto Asfáltico	23
Tabla 3: Tamaños Típicos de Tamices.....	26
Tabla 4: Criterios de Diseños de Mezcla Marshall.....	69
Tabla 5: Porcentajes Mínimos de VAM.....	71
Tabla 6: Factores de corrección de la Estabilidad medida en briquetas.....	71
Tabla 7: Puntos de Intersección del Polígono de Vacíos	79
Tabla 8: Preguntas Lógicas para definir casos de Polígonos de Vacíos	80
Tabla 9: Nomenclatura utilizada para las M.A.C. diseñadas	90
Tabla 10: Análisis de las Propiedades Físicas de los Agregados Grueso y Fino (TM 1/2 pulg.)	92
Tabla 11: Granulometría Combinada de Agregados utilizadas en los diseños de M.A.C.....	93
Tabla 12: Combinación de agregados para las mezclas de diseño.....	94
Tabla 13: Características generales de los Cementos Asfálticos utilizados en los diseños	95
Tabla 14 : Parámetros de Diseño Marshall y valores obtenidos para los Diseños en Estudio.....	96
Tabla 15: Promedios de Pb, Gmm y Gse MAC-1-AC.....	107
Tabla 16 : Especificaciones de Vacíos, Método de Diseño Marshall MAC-1-AC.	107
Tabla 17: Sistema de Ecuaciones Polígono de Vacíos MAC-1-AC.....	108
Tabla 18: Resultados de las incógnitas Pb y Gmb MAC-1-AC.....	110
Tabla 19: Caso III Polígono de Vacíos MAC-1-AC. (Ver tabla 8, pág. 80).....	110
Tabla 20 : Puntos del Polígono de Vacíos y Centroide MAC-1-AC.	110
Tabla 21 : Promedios de Pb, Gmm y Gse MAC-2-PG.....	115
Tabla 22: Sistema de Ecuaciones para el Polígono de Vacíos MAC-2-PG	116
Tabla 23: Resultados de las incógnitas Pb y Gmb MAC-2-PG.....	118

Tabla 24: Caso III Polígono de Vacíos MAC-2-PG (Ver tabla 8, pág.80)	118
Tabla 25: Puntos del Polígono de Vacíos y Centroide MAC-2-PG	118
Tabla 26: Promedios de Pb, Gmm y Gse MAC-3-AC.	123
Tabla 27: Sistema de Ecuaciones para el Polígono de Vacíos MAC-3-AC.	124
Tabla 28 : Resultados de las incógnitas Pb y Gmb MAC-3-AC.	126
Tabla 29 : Caso III Polígono de Vacíos MAC-3-AC. (Ver tabla 8, pág.80).....	126
Tabla 30 : Puntos del Polígono de Vacíos y Centroide MAC-3-AC.	126
Tabla 31: Propiedades de los diseños de M.A.C., Marshall vs Ramcodes.....	130
Tabla 32 : Comparación de costos de diseño de M.A.C. por el método Marshall vs Metodología Ramcodes	131

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1: Granulometría Exponencial y ejemplo de una banda de granulometría	25
Grafica 2: Curvas Fuller de Máxima Densidad	47
Grafica 3: Curvas de Densidad Máximo basadas en un gráfico FHWA de granulometría	48
Grafica 4: Estabilidad vs Contenido de Asfalto	65
Grafica 5: Fluencia vs Contenido de Asfalto	65
Grafica 6: Peso Unitario vs Contenido de Asfalto	66
Grafica 7: Vacíos de Aire vs Contenido de Asfalto	66
Grafica 8: VAM vs Contenido de Asfalto.....	67
Grafica 9: VFA vs Contenido de Asfalto	67
Grafica 10: Polígono de Vacíos de Mcleod.....	76
Grafica 11: Construcción Polígono de Vacíos	78
Grafica 12: Llaves de intersección del Polígono de Vacíos	79
Grafica 13: Polígono Vacíos y Centroide	81
Grafica 14: Mapa de Resistencia para Estabilidad Marshall, en lb	82

Grafica 15: Mapa de Resistencia para el Flujo Marshall, en centésimos de plg.	82
Grafica 16: Superposición del Polígono de Vacíos en el Mapa de Estabilidad...	83
Grafica 17: Superposición del Polígono de Vacíos en el mapa de Flujo	84
Grafica 18 : Curvas Granulométricas de los bancos, con límites de producción ASTM D 3515	94
Grafica 19: Estabilidad de los 3 diseños de M.A.C.	97
Grafica 20: Flujo de los 3 diseños de M.A.C.	99
Grafica 21: Peso Unitario de los 3 diseños de M.A.C.	100
Grafica 22 : VAM de los 3 diseños de M.A.C.	102
Grafica 23 : Vacíos Totales de los 3 diseños de M.A.C.	103
Grafica 24 : VFA de los 3 diseños de M.A.C.	104
Grafica 25 : Polígono de Vacíos MAC-1-AC.	111
Grafica 26 : Polígono de Vacíos y Mapa de Estabilidad Marshall MAC-1-AC.	112
Grafica 27 : Polígono de Vacíos y Mapa Flujo Marshall MAC-1-AC.	113
Grafica 28 : Polígono de Vacíos MAC-2-PG.	119
Grafica 29: Polígono de Vacíos y Mapa Estabilidad Marshall MAC-2-PG	120
Grafica 30 : Polígono de Vacíos y Mapa Flujo Marshall MAC-2-PG.	121
Grafica 31: Polígono de Vacíos MAC-3-AC.	127
Grafica 32 : Polígono de Vacíos y Mapa Estabilidad MAC-3-AC.	128
Grafica 33: Polígono de Vacíos y Mapa Flujo MAC-3-AC.	129

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1: VAM o VMA en una briqueta de Mezcla Compactada	39
Imagen 2: Pedestal, martillo mecánico y molde utilizado en la preparación de las muestras de ensayo Marshall.	55
Imagen 3: Hoja programada en Excel para cálculo del Polígono de Vacíos de mezcla MAC-1-AC.	106
Imagen 4: Hoja programada en Excel para cálculo del Polígono de Vacíos de mezcla MAC-2-PG.	114
Imagen 5: Hoja programada en Excel para cálculo del Polígono de Vacíos de mezcla MAC-3-AC.	122

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1: Reducción de Muestras de Agregado	13
Fotografía 2: Máquina de Desgaste de los Ángeles	16
Fotografía 3: Agregado con Diferentes Formas y Texturas Superficiales a) Agregado grueso b) Agregado fino	18
Fotografía 4: Análisis de Tamices.	22

CAPITULO I:

ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción

Las carreteras son de vital importancia para la sociedad nicaragüense, y la gran mayoría están hechas de concreto asfáltico, es por esto que el desempeño de las mismas depende de la calidad de los materiales, procesos constructivos y también de un buen diseño.

El diseño de una carretera abarca desde el diseño geométrico hasta el diseño de la mezcla asfáltica utilizada en la capa de rodadura, esta última es lo que nos concierne estudiar y desarrollar en el presente documento, por lo que ahondaremos en los requerimientos y metodologías de diseño de las Mezclas Asfálticas en Caliente (M.A.C.).

En la actualidad se utilizan varios métodos para el diseño de mezclas asfálticas en caliente. El único y más utilizado en Nicaragua es el Método Marshall, que determina el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, además define el flujo y la estabilidad como parámetros mecánicos.

Como en toda área de investigación, con el fin de mejorar los métodos de diseños de mezclas asfálticas, surge de igual manera la Metodología RAMCODES como una nueva alternativa que utiliza los parámetros obtenidos en el diseño Marshall y Superpave, para conseguir la optimización y el uso racional de los materiales en pasos más sencillos que permitan ahorro en los laboratorios, agilización en los resultados y combinado con mapas de resistencia un mejor análisis. En el presente caso de estudio se aplicará a los diseños elaborados por el Método Marshall.

1.2. Antecedentes

La red vial pavimentada de Nicaragua es de 4000 km según reporte del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Esta cifra es relevante y de gran importancia, porque representa de forma directa un crecimiento en las actividades económicas del país.¹

En materia de métodos de diseño de mezclas asfálticas el Método Marshall es el más utilizado a nivel mundial. Los conceptos básicos del Método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas fueron formulados a finales de los años 40 por el Ingeniero Bruce Marshall, un experto en pavimentos asfálticos. Este método en nuestro país es el procedimiento de laboratorio utilizado en el diseño y control de mezclas asfálticas en caliente, en especificaciones NIC-2000.

Estos diseños y su fabricación son solicitados en las Especificaciones Técnicas del Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, en su **sección 1350-Fabricación de Mezclas** y en las Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes de Nicaragua (NIC-2000), en su **sección 405-Pavimentos asfálticos y tratamientos superficiales**.

La práctica tradicional de diseño y compactación de geomateriales, entre ellos las mezclas asfálticas, está fundamentada en criterios estadísticos obsoletos, como respuesta a esta situación el ingeniero venezolano Freddy Sánchez Leal desde 1998 desarrolló la Metodología RAMCODES para diseñar y controlar geomateriales compactados, de forma más racional y científica.

¹ Moncada, Roy.(2016).Cifra Histórica en la red vial en Nicaragua.*La Prensa*

En Nicaragua el Ingeniero Consultor Gustavo Corredor (q.d.e.p.) de origen venezolano en el año 2011 empleo dicha Metodología para evaluar la mezcla y el pavimento del proyecto Mejoramiento de la Ruta Malpaisillo, Chinandega – San Isidro, Matagalpa.²

RAMCODES ha sido respaldado por el Instituto Venezolano de Asfalto (INVEA), el Instituto Mexicano del Transporte y la Asociación Mexicana de asfalto. La Metodología se ha publicado extensamente en la American Society of Civil Engineers, "Diario de Materiales en Ingeniería Civil". Se ha empleado en el diseño y control de calidad de mezclas asfálticas que se han utilizado con éxito en una serie de proyectos importantes en América del Norte y del Sur. Además de haber sido galardonado con el Premio de Ciencia venezolana y la Publicación 2008 de la tecnología, por el trabajo "tabla de gradación para mezclas asfálticas".³

² Información suministrada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura, (MTI).

³ Freddy, S.L. (n.d.), RAMCODES, obtenido 30 de agosto 2016, de <http://blogramcodes.blogspot.com>.

1.3. Justificación

Emplear en el diseño de mezclas asfálticas los resultados obtenidos de la Metodología RAMCODES aplicada al Método de Marshall, a fin de diseñar y analizar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con menos recursos y menor tiempo, logrando ahorro y mayor productividad en los laboratorios.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Aplicar la metodología RAMCODES para el análisis de mezclas asfálticas en caliente como una alternativa económica y práctica en el diseño y construcción.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los materiales a usar como materia prima para el diseño de las mezclas asfálticas de 3 bancos de materiales.
- Revisar el Método Marshall de diseño de mezclas asfálticas en caliente.
- Diseñar tres mezclas asfálticas en caliente con el Método Marshall.
- Revisar y analizar con la metodología RAMCODES el diseño de mezclas asfálticas, a través del Polígono de Vacíos y Mapas de Resistencia.

CAPITULO II:

MARCO TEORICO

2.1. Materiales Pétreos

En el diseño de una mezcla asfáltica en caliente intervienen dos materiales indispensables que son los agregados pétreos y el asfalto, los agregados por su parte son de gran importancia ya que en una mezcla asfáltica constituyen entre el 90 y el 95 por ciento en peso, y entre el 75 y 85 por ciento en volumen; es de mencionar que la calidad de la mezcla asfáltica depende de la calidad de los materiales constituyentes y la capacidad de carga de la carpeta es proporcionada esencialmente por los agregados, de esto se deriva la importancia de una adecuada selección y manejo de los materiales pétreos que serán utilizados para elaborar una mezcla asfáltica, específicamente en lo que se refiere a una buena distribución granulométrica. Una pequeña variación en el porcentaje de un determinado tamaño de agregado o en las propiedades de éste puede causar cambios significativos en las propiedades de la mezcla elaborada, por lo tanto, es necesario llevar un control eficiente de los agregados que se está usando en la planta de producción de mezcla lo cual puede comprender: *control de calidad del agregado que se produce en la planta trituradora, acopio de agregados y alimentación en frío de agregados.*

El control de la calidad del agregado usado es un factor crítico en el comportamiento de una carpeta de concreto asfáltico, sin embargo, además de la calidad se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación, estos criterios incluyen el costo, la disponibilidad del agregado su origen y además, deberá cumplir con ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para concreto asfáltico de buena calidad.⁴

⁴ Crespin, R., Santacruz, I., & Torres, P. (2012). Aplicación del Método Marshall y Granulometría Superpave en el diseño de M.A.C. con asfalto de clasificación grado de desempeño. El Salvador.

2.2. Origen de los materiales granulares.

Los agregados minerales provienen de las rocas ya sean sedimentarias, metamórficas o ígneas.⁵

- Rocas Sedimentarias: se forman por la acumulación de sedimentos a medida que el agua se deposita. Los sedimentos pueden ser de origen mineral, como gravas, las areniscas y las arcillas; de residuos de productos orgánicos, como las calizas y carbones; ser el producto de una reacción química o evaporación, como la sal y el yeso; o de la combinación de cualquiera de estos tipos de materiales.
- Rocas ígneas: provienen del material fundido (magma) formado en los volcanes y que se ha enfriado y endurecido.
- Rocas metamórficas: son rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por procesos de intenso calor y presión, o por reacciones químicas.

2.3. Banco de Préstamo

Se entiende como banco de material selecto o de préstamo a yacimientos o depósitos de roca y minerales no metálicos compuestos por material consolidado y/o no consolidado, que luego de haber sido sometidos a los estudios técnicos correspondientes, han sido aprobados para uso en obras de infraestructura no requiriendo más que operaciones de arranque, fragmentación y clasificación.

⁵ Corredor, Gustavo. Apuntes de Pavimentos Volumen 2. Caracas, 2005.

2.4. Definición de agregado

Los agregados pétreos son materiales granulares sólidos inertes, usados para ser mezclado en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen la arena, la grava, la escoria de alto horno, o la roca triturada y polvo de roca. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad soportante.

2.5. Tipos de agregados

El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:⁶

➤ Agregados Naturales

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento.

➤ Agregados de Trituración:

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera ó de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales de canteras cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

⁶ Corredor, Gustavo. Apuntes de Pavimentos Volumen 2. Caracas, 2005

➤ **Agregados Artificiales:**

Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

➤ **Agregados Marginales:**

Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

2.6. Conceptos más frecuentes relacionados a los agregados

➤ **Agregado Grueso**

Agregado que pasa el tamiz de 3" y queda retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

➤ **Agregado Fino**

Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y queda retenido en el tamiz de 75µm (No. 200).

➤ **Polvo Mineral**

La porción de agregado fino que pasa el tamiz 75µm (No. 200).

➤ **Relleno Mineral**

Producto mineral finamente dividido en donde más del 70% pasa el tamiz de 75µm (No. 200).

➤ **Agregado de Graduación Gruesa**

Agregado cuya graduación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños gruesos.

➤ **Agregado de Graduación Fina**

Agregado cuya graduación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños finos.

➤ **Agregado Densamente Graduado**

Agregado con una distribución de tamaños de partícula, tal que cuando es compactado, los vacíos que resultan entre las partículas expresados como un porcentaje del espacio total ocupado, son relativamente pequeños.

➤ **Agregado de Graduación Abierta**

Agregado que contiene poco o ningún llenante mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado compactado son relativamente grandes.

➤ **Agregado Bien Graduado:**

Agregado cuya graduación va desde el tamaño máximo hasta el de un llenante mineral con el objeto de obtener una mezcla bituminosa con un contenido de vacíos controlado y alta estabilidad.⁷

⁷ Crespin et al.(2012).Aplicación del Metodo Marshall y Granulometria Superpave en el diseño de M.A.C. con asfalto de clasificación grado de desempeño.El Salvador.

2.7.Importancia del muestreo de un agregado

2.7.1. Generalidades

Los buenos procedimientos de control de calidad requieren de pruebas durante los procesos de producción, acopiado, y manejo, para:

- Asegurar que solamente se use material satisfactorio en la mezcla de pavimentación.
- Proporcionar un registro permanente como evidencia de que los materiales cumplen con las especificaciones de la obra.

Obviamente, no resulta práctico ensayar todo el agregado que está siendo producido o ensayar todo el contenido del acopio. Solo es posible ensayar muestras de estos materiales. La muestra seleccionada debe ser verdaderamente representativa de todo el agregado para que los resultados de los ensayos sean confiables. Es muy importante, por lo tanto, tener técnicas apropiadas de muestreo, (basados en la norma AASHTO T 2-91 (2000) y su equivalente ASTM D 75-87 (1992). Las cantidades requeridas en el muestreo están indicadas en la norma (Tabla 1, pág.12).

También se incluye información sobre el peso recomendado de la muestra, con base en el tamaño máximo de la partícula de agregado. Además, debe recordarse que las muestras más representativas son generalmente tomadas de las bandas transportadoras de agregado, y no de los acopios o depósitos.

Tabla 1: Tamaño de Muestras

Tamaño Máximo Nominal del Agregado	Masa mínima aproximada de muestra de campo, lb(kg)
Agregado fino	
No. 8 (2.36 mm)	25 (10)
No. 4 (4.75 mm)	25 (10)
Agregado grueso	
3/8 pulg (9.5 mm)	25 (10)
½ pulg (12.5 mm)	35 (15)
¾ pulg (19.0 mm)	55 (25)
1 pulg (25.0 mm)	110 (50)
1 ½ pulg (37.5 mm)	165 (75)
2 pulg (50 mm)	220 (100)
2 ½ pulg (63 mm)	275 (125)
3 pulg (75 mm)	330 (150)
3 ½ pulg (90 mm)	385 (175)

Fuente: Norma AASHTO T 2-91(2000)) Con equivalencia en ASTM: D 75-87 (1992)

2.7.2. Reducción de los Agregados

Después de haber seleccionado una muestra de agregado, es a veces necesario reducir su tamaño (volumen) a uno más conveniente para que pueda ser manejada y ensayada. Debido a que este proceso de reducción puede causar segregación, es necesario tener mucho cuidado para poder preservar la integridad de la muestra. La fotografía 1 ilustra dos ejemplos de métodos de reducción. Generalmente, es preferible usar el partidador mecánico de muestras con agregados gruesos o agregados finos secos. Por otro lado, el cuarteo es el mejor método cuando la muestra de agregado está húmeda.

La reducción de la muestra se hace en base al tamaño máximo nominal del agregado y de acuerdo a la norma AASHTO T 248-02 y su equivalente ASTM C 702-98 (2003), describe ambos métodos en detalle.

Fotografía 1: Reducción de Muestras de Agregado
a. Método usando partidor de muestras
b. Método por cuarteo manual



Fuente: Laboratorio INSUMA

2.8. Propiedades de los agregados que se utilizan en M.A.C.

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma el 90 a 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación.

Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

➤ **Graduación y Tamaño Máximo de la Partícula**

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones. Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender cómo se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

➤ **Tamaño Máximo de Partícula**

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

➤ **Tamaño Máximo Nominal del Agregado**

Designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10% de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.

➤ **Tamaño Máximo del Agregado**

Designado como el tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado.

➤ **Limpieza**

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, etcétera) en el agregado. Las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento.

La limpieza del agregado puede determinarse, usualmente, mediante inspección visual, pero un tamizado por lavado de acuerdo a la norma AASHTO T 11-97 (2000) y su equivalente ASTM 117-95 (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable más fino que 0.075 mm (No. 200). El Ensayo “Finos Plásticos en Agregados Graduados y Suelos por el Uso del Ensayo del Equivalente de Arena” (AASHTO T 176-02) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

➤ **Dureza**

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación, compactación de la mezcla de pavimentación y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están en, o cerca de, la superficie, deben de tener mayor resistencia que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito.

El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles (AASHTO T 96-2002, Equivalencia ASTM C-131-2001) mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión. El equipo usado en el ensayo se muestra en la Fotografía 2.

Fotografía 2: Máquina de Desgaste de los Ángeles



Fuente: Laboratorio INSUMA

➤ **Forma de la partícula**

La forma de la partícula (Ver fotografía 3, pág.18) afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre, por trituración.

Muchas de las mezclas asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas. Las partículas gruesas (grandes) de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen generalmente de piedra o grava triturada.

Las partículas finas de agregado suministran la trabajabilidad necesaria en la mezcla y provienen generalmente de arenas naturales.

La prueba de laboratorio más utilizada para medir la forma de las partículas es conocida como “cubicidad de las partículas” (Normas: ASTM D 692). Este método comprende el procedimiento de laboratorio para determinar las partículas chancadas (caras fracturadas), rodadas y lajeadas de la fracción retenida en la malla N° 4 (4.75 mm) de un pétreo.

➤ **Textura superficial**

La textura superficial de las partículas de agregado (Ver fotografía 3, pág.18) es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera, como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

No existe un método directo para evaluar la textura superficial. Es tan solo una característica, como la forma de la partícula, que está reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

Fotografía 3: Agregado con Diferentes Formas y Texturas Superficiales
a) Agregado grueso b) Agregado fino



Fuente: Laboratorio INSUMA

➤ Capacidad de absorción

Normas: (Agregado grueso: AASHTO T 85-91 y ASTM C 127-88 (1993). Agregado fino: AASHTO T 84-00 y ASTM C 128-97).

Todos los agregados son porosos, y algunos más que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

La capacidad de un agregado de absorber agua o asfalto, es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades mucho mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso.

Los agregados altamente porosos y absorbentes no son normalmente usados, a menos de que posean otras características que los hagan deseables, a pesar de su alta capacidad de absorción. Algunos ejemplos de dichos materiales son la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos.

Estos materiales son altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

➤ **Afinidad con el Asfalto**

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas, las dolomitas, y las rocas trapeanas tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente, tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silíceos (cuarcita y algunos granitos) son ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución.

➤ **Peso Específico. (Norma: ASTM D 70, AASHTO T 228)**

El peso específico de un agregado (también conocido como gravedad específica) es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados, en la mezcla, de acuerdo al peso.

Una tonelada de agregado de bajo peso específico tiene un volumen mayor (ocupa más espacio) que una tonelada de agregado con un peso específico más alto. Por consiguiente, para poder cubrir todas las partículas de agregado, más asfalto debe ser adicionado a una tonelada de agregado con bajo peso específico (mayor volumen) que a una tonelada de agregado con un peso específico más alto (menos volumen).

Otra razón importante por la cual es necesario conocer el peso específico de los agregados usados es: que este ayuda en el cálculo de porcentaje de vacíos de aire (espacios de aire) de las mezclas compactadas.

Todas las mezclas de pavimentación deben incluir un cierto porcentaje (en volumen) de vacíos o espacios de aire. Estos espacios desempeñan una labor importante en el pavimento terminado. La única manera de calcular el porcentaje de vacíos de aire en un volumen dado de mezcla de pavimentación es midiendo el peso específico de una muestra de la mezcla de pavimentación y luego restando, de su valor, los pesos específicos del agregado y el asfalto que conformará la mezcla. El resultado es una indicación del volumen de vacíos de aire en la muestra.

Todos los agregados son hasta cierto punto porosos. Se ha desarrollado tres tipos de peso específico para tener en cuenta la porosidad del agregado, debido a que esta afecta la cantidad de asfalto que se requiere para cubrir las partículas de agregado y también el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla final. Estos tres tipos son:⁸

- *Peso específico total*
- *Peso específico aparente*
- *Peso específico efectivo*

La determinación de esta propiedad (peso específico) incluyendo los tres tipos ya mencionados, se logra mediante el ensayo de laboratorio conocido como:

➤ **Gravedad Específica y Absorción del Agregado.**

El peso específico total de una muestra incluye todos los poros de la muestra. El peso específico aparente no incluye, como parte del volumen de la muestra, los poros y espacios capilares que se llenarían de agua al saturar la muestra. El peso específico efectivo excluye, del volumen de la muestra, todos los poros y espacios capilares que absorben asfalto. Ninguna de estas suposiciones excepto en casos muy raros, es verdadera, sin embargo, el peso específico efectivo, el cual discrimina entre poros permeables al agua y poros permeables al asfalto, es el que más se acerca al valor correcto que debe ser usado en los cálculos de mezclas asfálticas.

⁸ Corredor, Gustavo. Apuntes de Pavimentos Volumen 2. Caracas, 2005.

2.9. Análisis Granulométrico

2.9.1. Generalidades

La granulometría de partículas es determinada por un análisis de tamices (o granulometría) efectuado sobre las muestras de agregado. El análisis de tamices consiste en pasar la muestra por una serie de tamices, cada uno de los cuales tiene aberturas de un tamaño específico.

Los tamices están denominados de acuerdo al tamaño de sus aberturas. Las partículas gruesas quedan atrapadas en los tamices superiores; las partículas de tamaño medio pasan a través de los tamices medianos; y las partículas finas pasan a través de los tamices inferiores.

La granulometría del agregado, o graduación de la mezcla, tiene en cuenta el porcentaje (en peso) total de muestra que pasa por cada uno de los tamices. Es determinada al calcular el peso del contenido de cada tamiz, después de haber efectuado el análisis de tamices. Luego se resta el peso del contenido de cada tamiz del peso total de la muestra.

Fotografía 4: Análisis de Tamices



Fuente: Laboratorio INSUMA.

Los concretos asfálticos son clasificados de acuerdo a los porcentajes de partículas de agregado que contienen. La Tabla 2 ilustra cinco tipos diferentes de concreto asfáltico y sus contenidos respectivos de agregado.

Tabla 2: Composición Típica del Concreto Asfáltico

	DESIGNACIÓN DE LA MEZCLA USANDO EL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADO				
	37.5 (1 1/2 in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1 1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)
TAMAÑO DE TAMIZ	(1 1/2 in.)	(1 in.)	(3/4 in.)	(1 1/2 in.)	(3/8 in.)
Porcentaje Total que Pasa (en peso)					
50 mm (2 in)	100	-	-	-	-
37.5 mm (1 1/2 in)	90 to 100	100	-	-	-
25.0 mm (1 in)	-	90 to 100	100	-	-
19.0 mm (3/4 in)	56 to 80	-	90 to 100	100	-
12.5 mm (1/2 in)	-	56 to 80	-	90 to 100	100
9.5 mm (3/8 in)	-	-	56 to 80	-	90 to 100
4.75 mm (1/2 in)	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 74	55 to 85
2.36 mm (No.8)*	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67
1.18 mm (No.16)	-	-	-	-	-
0.60 mm (No.30)	-	-	-	-	-
0.30 mm (No.50)	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23
0.15 mm (No.100)	-	-	-	-	-
0.075 mm (No.100)**	0 to 5	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10
CEMENTO ASFALTICO	3 to 8	3 to 9	4 to 10	4 to 11	5 to 12
% EN PESO DEL TOTAL DE LA MEZCLA*					

Fuente: Serie de manuales, No 22, MS-22, Instituto del Asfalto

Cuando se consideran las características de la graduación total de una mezcla asfáltica, resulta ser que la cantidad de material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No.8) es un punto importante y conveniente de control de campo entre los agregados finos y los agregados gruesos. Las graduaciones que se aproximan a la cantidad máxima permitida que debe pasar por el tamiz de 2.36 mm resultaran en superficies de pavimento con textura relativamente fina. Las graduaciones que se aproximan al valor mínimo permitido resultaran en superficies con textura relativamente áspera.

"El material que pasa el tamiz de 0.075 mm (No. 200) puede consistir de partículas finas de agregado o de relleno mineral, o de ambos. Este material deberá estar libre de materia orgánica y de partículas de arcilla, y deberá tener un índice de plasticidad no mayor a 4 cuando se usa el Método D 423 o D 424 de la ASTM".

Las especificaciones de granulometría de agregado para una obra dada pueden ser presentadas gráficamente. A continuación se muestra en el gráfico 1 una curva típica de granulometría, los tamaños de los tamices se muestran horizontalmente tanto en unidades métricas como en unidades habituales.

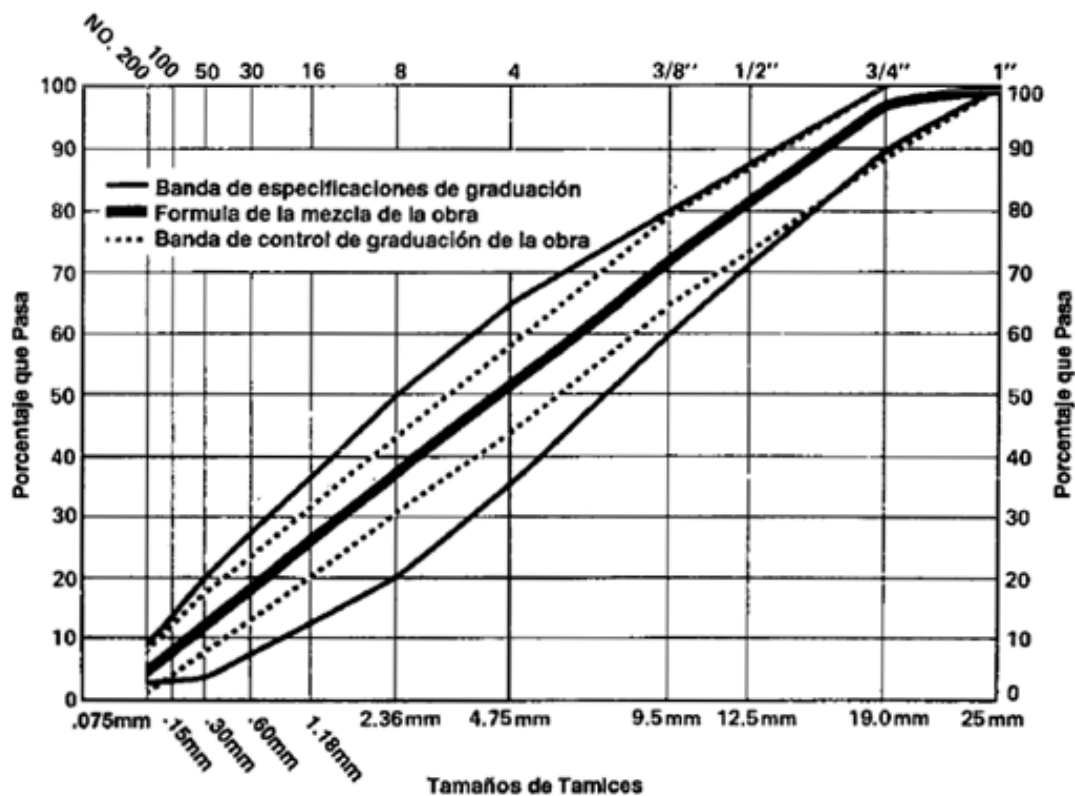
El porcentaje de material que pasa se muestra verticalmente. Las especificaciones para una obra dada están representadas por la región que está entre las líneas sólidas delgadas. La fórmula de la mezcla de pavimentación está representada por la línea sólida gruesa. La banda de control de granulometría para la obra - establecida como referencia para controlar la granulometría en la obra - está situada dentro de la región encerrada por las líneas punteadas.

Examinemos que nos dice una curva de granulometría (Ver gráfica 1, pág.24). Tomando el tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgada) como ejemplo, podemos observar que la banda de control de graduación permite que pase, por este tamiz, el 65 a 80 por ciento de agregado. La fórmula de la mezcla de la obra requiere que el 72 por ciento de agregado pase a través del tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgada).

Sin embargo, el margen usado durante el mezclado y la construcción está entre el 65 y el 80 por ciento (material pasando el tamiz).

Un gráfico de granulometría permite que el inspector comprenda, rápida y fácilmente, las graduaciones requeridas por la banda de especificaciones, por la fórmula de mezcla de la obra, y por la banda de control de graduación de la obra.⁹

Gráfica 1: Granulometría Exponencial y ejemplo de una banda de granulometría



Fuente: Serie de manuales, No 22, MS-22, Instituto del Asfalto

En la norma ASTM E 11-95 se encuentran los tamices para laboratorio para análisis granulométrico en general. En la Tabla 3 se muestran los tamaños y números de tamices más frecuentemente usados en la graduación de agregado para mezclas asfálticas de pavimentación.

⁹ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales No.22(MS-22).Asphalt Institute.

Tabla 3: Tamaños Típicos de Tamices

Designación de Tamices para Agregado Grueso		Designación de Tamices para Agregado Fino	
Sistema Métrico	Sistema Habitual Norteamericano	Sistema Métrico	Sistema Habitual Norteamericano
63 mm	2 - 1/2 in.	2.36 mm	No.8
50 mm	2 in.	1.18 mm	No.16
37.5 mm	1 - 1/2 in.	0.60 mm	No.30
25.0 mm	1 in.	0.30 mm	No.50
19.0 mm	3/4 in.	0.15 mm	No.100
12.5 mm	1/2 in.	0.075 mm	No.200
9.5 mm	3/8 in.		
4.75 mm	No.4		

Fuente: Serie de manuales, No 22, MS-22, Instituto del Asfalto

2.9.2. Métodos utilizados para determinar la granulometría.

➤ Tamizado en seco.

Se usa generalmente con material agregado de graduación gruesa. Sin embargo, cuando las partículas de agregado están cubiertas de polvo o material limo-arcilloso, se debe efectuar un tamizado por lavado.

- Las muestras para el tamizado son reducidas por medio de un “cuarteador” de muestras, o mediante cuarteo manual.
- Los material finos y gruesos son separados usando un tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- Las muestras son secadas hasta un peso constante.
- Las muestras finas y las muestras gruesas son tamizadas separadamente.

- e. El peso de las fracciones (porciones) retenidas en cada tamiz, y en el plato que esta al final de los tamices, es registrado, así como la graduación de cada muestra (parte fina y parte gruesa).
- f. En la norma (AASHTO T 27-99 y ASTM C 136-01) se puede encontrar el procedimiento para tamizado en seco.

➤ **Tamizado por vía húmeda**

- a. Las muestras para este tipo de tamizado son lavadas a fondo para remover el polvo y el material limo-arcilloso, después de haber sido reducidas, separadas, secadas y pesadas.
- b. Después de ser lavadas, las muestras son nuevamente secadas y pesadas.
La diferencia en peso antes y después del lavado representa la cantidad de polvo y material limo-arcilloso en la muestra original.
- c. En la norma AASHTO T 11-97 y su equivalente ASTM C 117-95, se puede encontrar el procedimiento para tamizado por vía húmeda.¹⁰

¹⁰ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales No.22(MS-22).Asphalt Institute.

2.10. Especificaciones Técnicas para agregados utilizados en M.A.C.

En nuestro país y en Centroamérica se crearon especificaciones técnicas de carácter regional conocidas como S.I.E.C.A. (Secretaría de Integración Económica Centroamericana), estas han sido el resultado de esfuerzos de integración logrados a través de los últimos años, y por convenio pretenden ser obligatorias para todos los países miembros. Estas especificaciones están clasificadas en:

- **Generales:** Contiene las actividades aplicadas a obras de Mantenimiento en todos los países centroamericanos.
- **Particulares:** modifican las especificaciones generales para adecuarlas a las condiciones prevalecientes en los contratos específicos de mantenimiento vial, en cada país centroamericano.

Las especificaciones técnicas que interesan a nuestro documento, parten de las especificaciones generales desarrolladas por S.I.E.C.A. en el “**Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales**”, en dicho manual se establecen los requisitos que deben cumplir los materiales pétreos, asfalto y mezcla asfáltica en caliente, entre otros factores relacionados con dicha mezcla.

2.10.1. Requisitos que deben cumplir los agregados grueso y fino

➤ Agregado Grueso.

Este material debe consistir en piedra o grava de buena calidad triturada (Retenidos en la malla de 4.75 mm) y mezclada de manera que el producto obtenido corresponda a uno de los tipos de granulometría estipulados y llene además los requisitos generales siguientes:

- a. Abrasión de los Ángeles, AASHTO T 96: 40% máx.
- b. Sanidad en sulfato de sodio (5 ciclos), AASHTO T 104: 12% máx.
- c. Caras fracturadas, ASTM D 5821: 75% min.
- d. Índice durabilidad (agregado grueso), AASHTO T 210: 35% mín.

No deben usarse agregados con caras pulidas o agregados que contengan carbonato soluble. El residuo insoluble debe ser menor del 25%, de acuerdo a ASTM D 3042.

➤ **Agregado Fino.**

Este material está formado por arenas naturales, arena de piedra quebrada cernida, o su combinación y deberá tener una granulometría que (material que pasa la malla 4.75 mm), al combinarse con otras fracciones en la proporción adecuada, la mezcla resultante puede satisfacer la granulometría requerida según AASHTO M 29 incluyendo la pérdida en sulfato, y que llene además los requisitos generales siguientes:

- a. Equivalente de arena, AASHTO T 176: 45% mín.
- b. Índice de durabilidad (fino), AASHTO T 210: 35% min.

2.10.2. Ensayos realizados a los agregados grueso y fino para ocuparlos en M.A.C.

ENSAYOS A LOS AGREGADOS GRUESO Y FINO	NORMA AASHTO	EQUIVALENCIA ASTM
Análisis por tamizado de agregados grueso y fino.	T 27- 99	C 136-01
Materiales más finos que pasan el tamiz de 75 µm (no. 200) en agregado mineral por lavado.	T 11-97(2000)	C 117-95
Partículas planas, partículas alargadas, o partículas planas y alargadas en agregado grueso	D 4791 - 99	Sin equivalencia
Finos plásticos en agregado graduado y suelos por el uso del ensayo del equivalente de arena	AASHTO: T 176-02	ASTM: D-2419
Ensayo de sanidad de agregados por Sulfato de Sodio	T 104-99(2003)	C 88-99A
Gravedad Específica y Absorción del agregado fino.	T 84 - 00	C 128 – 97
Gravedad Específica y Absorción del agregado grueso.	T 85 - 91 (2000)	C 128 - 88 (1993)
Resistencia al desgaste de agregado grueso de tamaño pequeño por impacto y abrasión en la máquina los ángeles.	T 96 -2002	C 131-2001

Fuente: Ensayos realizados a agregados pétreos¹¹

¹¹Crespin et al.(2012).Aplicación del Metodo Marshall y Granulometria Superpave en el diseño de M.A.C. con asfalto de clasificación grado de desempeño.El Salvador.

2.10.3. Combinación de los agregados

Es poco común obtener un material que, sin ser procesado o mezclado con otros, satisfaga directamente los requisitos granulométricos impuestos en las especificaciones de construcción de carreteras. La insuficiencia granulométrica que presenta un agregado puede ser resuelta mediante la adición, o combinación, de uno o más agregados adicionales, de forma que la mezcla que de ellos resulte si cumpla con los límites que tales especificaciones establezcan.

En ocasiones varios materiales deben mezclarse para reducir su plasticidad, o para incrementar el porcentaje de caras producidas por factura. Determinar las cantidades relativas de los distintos agregados para obtener ese objetivo específico es un problema de dosificación que puede ser resuelto por métodos gráficos o analíticos.

➤ Principios básicos

La fórmula básica que expresa el procedimiento de combinación, independientemente del número de agregados a mezclar y del método de proporcionarlos, son las siguientes:

$$a + b + \dots + n = 1.0$$

$$P = Aa + Bb + Cc + \dots + Nn$$

P = porcentaje de material que pasa en un tamiz dado, resultante de la combinación de los agregados A, B, C...N.

a,b,c..., n = proporciones, expresadas en forma decimal, resultantes de la combinación para cada uno de los materiales empleados, y cuya sumatoria es igual a 1.0, tal como lo expresa la formula.

Nota: el valor de P, y de A,B,C,...N, puede corresponder también al porcentaje total que es retenido en un tamiz determinado, o al porcentaje que pasa ese tamiz y es retenido en otro tamiz.

Los porcentajes pasantes para cada tamiz (P), determinados según la formula, deben ser, normalmente, los más cercanos posibles a la media de las especificaciones para cada uno de los tamices considerados.¹²

¹² Corredor, Gustavo. Apuntes de Pavimentos Volumen 2. Caracas, 2005.

2.11. Ligantes Asfálticos

2.11.1. Generalidades

El Asfalto es un producto natural o compuesto que proviene de la destilación seca de productos orgánicos vegetales. Es una mezcla de Betún con productos materiales inertes tales como Sílice, Arena, Arcilla, etc. El Asfalto se utiliza principalmente en la pavimentación de obras viales.

Como se explica en el manual del Instituto del Asfalto, el asfalto es uno de los componentes ingenieriles más arcaico utilizado desde los inicios del hombre para la construcción. Fue en Egipto, aproximadamente en el año 2500 a.c. que el asfalto fue descubierto; es una palabra cuyo vocablo que deriva del acadio “Sphalto” que significa “que deja caer”, este término se utilizaba en Asiria entre los años 1400 y 600 a.c., tiempo después esta palabra fue adoptada por los griegos, quienes le otorgaron el significado de “que rigidiza o estabiliza, y finalmente evolucionó al latín y después al francés (Asphalte) y al español (Asfalto), hasta llegar al inglés (Asphalt).

2.11.2. Definición de Asfalto

La ASTM define al asfalto o cemento asfáltico como “un cementante de color marrón oscuro a negro en el que sus componentes predominantes son los asfáltenos que pueden ser naturales u obtenidos como residuo en la refinación del petróleo crudo”.

El asfalto posee características tanto químicas como físicas, que son los elementos que le proveen todas sus particularidades y hacen de éste el producto esencial que es hoy en la industria de la construcción. Este cementante contiene tres importantes propiedades químicas:

consistencia, pureza y seguridad, donde la primera se debe a su habilidad para fluir a diferentes temperaturas, esto en razón a que el asfalto es un material termoplástico, es decir, se fluidifica a altas temperaturas. La segunda define la composición química del asfalto, donde las impurezas de éste, son prácticamente inertes. La tercera precisa el comportamiento de afinidad química con las diferentes cargas eléctricas. De la misma manera, dentro de su composición química contiene características de aglutinación, esto debido a su constitución principalmente de asfáltenos y máltenos, que son los elementos que le proporcionan dichas particularidades; este último define la capacidad del asfalto para ser manejado a altas temperaturas con seguridad.¹³

2.11.3. Asfaltos Modificados

De todos los aditivos (por ejemplo, las fibras naturales) que se incorporan a los ligantes asfálticos para mejorar sus características mecánicas y reológicas, los que mejores posibilidades ofrecen son los polímeros.

Los polímeros son compuestos orgánicos de elevado peso molecular formados por la repetición sucesiva de grupos estructurales más sencillos que una vez dispersos en el asfalto llegan a formar verdaderas redes tridimensionales que le confieren al asfalto relevantes características de elasticidad.

Dentro de las principales características se pueden destacar:

- Aumento de la cohesión interna
- Disminución de la susceptibilidad térmica en las temperaturas de servicio

¹³ Crespín et al.(2012).Aplicación del Método Marshall y Granulometría Superpave en el diseño de M.A.C. con asfalto de clasificación grado de desempeño.El Salvador.

- Mejora de la elasticidad a bajas temperaturas
- Mejora del comportamiento a fatiga
- Aumento de la adhesividad árido ligante
- Aumento de la resistencia al envejecimiento

Entre los distintos polímeros se pueden citar los elastómeros, como caucho natural (NR), peladura de neumáticos; neopreno; estireno-butadieno-estireno (SBS); etc.¹⁴

2.12. Mezcla Asfáltica

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formados por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos de una película de éste. Las mezclas asfálticas se utilizan para la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral fino (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

¹⁴ Corredor, Gustavo. Apuntes de Pavimentos Volumen 2. Caracas, 2005.

2.12.1. Características y comportamiento de la Mezcla Asfáltica.

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla*
- Vacíos de aire*
- Vacías en el agregado mineral*
- Contenido de asfalto*

➤ **Densidad**

La densidad de la mezcla compactada esta definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante para el inspector, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cubico (kg/m^3) o libras por pie cubico (lb/ft^3). La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ($1,000 \text{ kg/m}^3$ o 62.4 lb/ft^3). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada.

➤ **Vacíos de Aire**

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio para capas de base y capas superficiales está entre 3% y 5%).

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla.

Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro.

Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa.¹⁵

➤ **Vacíos en el Agregado Mineral**

Los vacíos en el agregado mineral (VAM) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

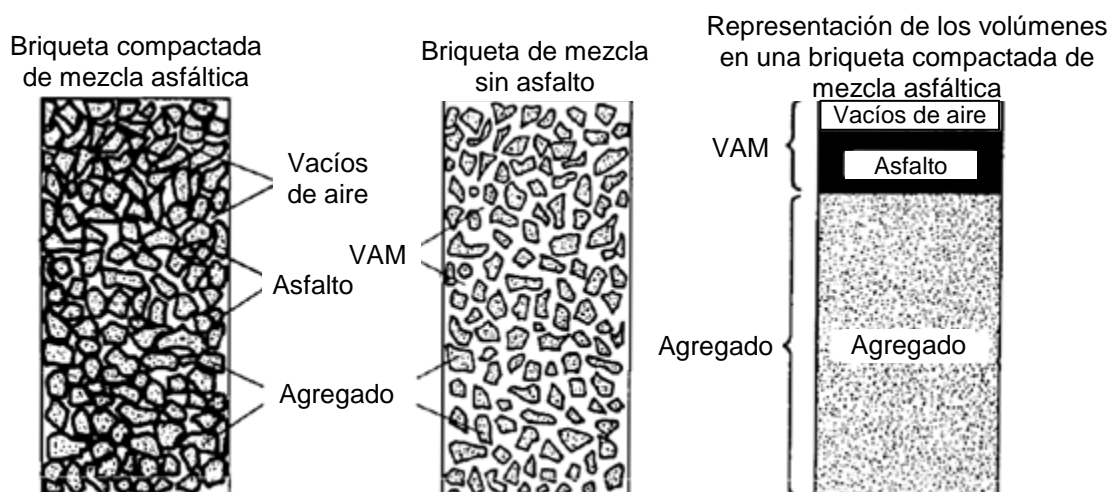
¹⁵ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales No.22(MS-22). Asphalt Institute.

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (es decir todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuanto mayor sea el VAM, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto.

Existen valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado (ver tabla 5). Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla. La imagen 1 ilustra el concepto de VAM.

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se deben tener valores mínimos de VAM. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VAM por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VAM para economizar en el contenido de asfalto.

Imagen 1: VAM o VMA en una briqueta de Mezcla Compactada



Fuente: Serie de manuales, No 22, MS-22, Instituto del Asfalto

➤ **Contenido de Asfalto**

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado esta directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (No. 200)). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte del contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido de relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco, o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorara. En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no-absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.¹⁶

¹⁶ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales No.22(MS-22).Asphalt Institute.

2.12.2. Clasificación de las Mezclas Asfálticas

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

➤ **Por Fracciones de agregado pétreo empleado.**

- a. Masilla asfáltica: Polvo mineral más cemento asfáltico.
- b. Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- c. Concreto asfáltico: Agregado grueso, agregado fino, polvo mineral y cemento asfáltico.
- d. Macadam asfáltico: Capa de rodadura formada por una sucesión de capas de mezcla asfáltica con materiales pétreos de diferentes granulometrías, colocando las de mayor granulometría abajo, y arriba la de menor granulometría. Luego se procede a la compactación con rodos y camiones.

➤ **Por la Temperatura de puesta en obra.**

- a. Mezclas asfálticas en Caliente: El concreto asfáltico mezclado en planta y compactado en caliente, se compone de una mezcla de agregados graduados y asfalto, fabricado a una temperatura aproximada de 150°C colocada y compactada en caliente a una temperatura de 140 ° C.

Las plantas para la producción de mezclas en caliente se construyen de tal manera que, después de secar y calentar los agregados, los separa en diferentes grupos de tamaños, los recombina en las proporciones adecuadas, los mezcla con la cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los vehículos transportadores, que a su vez la colocan en la máquina pavimentadora para que esta la deposite sobre la vía con un espesor uniforme, después se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva dentro de los rangos de especificación.

- b. Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.
- c. Mezclas asfálticas Tibias: Las mezclas tibias se describen como aquellas que se producen a temperaturas menores que las mezclas en caliente, es decir entre 100°C y 135°C, su producción involucra nuevas tecnologías a partir de los cuales es posible producir y colocar los concretos asfálticos a temperaturas sensiblemente inferiores a las técnicas convencionales. El concepto de mezcla tibia surgió en Europa, tras la necesidad de una mezcla bituminosa que ofreciera economía de energía y tuviera el mismo desempeño de las mezclas asfálticas en caliente.

➤ **Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica.**

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- a. Mezclas Cerradas o Densas: contienen cantidades de agregados en proporciones adecuadas de todos los tamaños, de grueso a fino, incluyendo filler, proporcionados de tal forma de obtener una mezcla densa con pocos vacíos. La proporción de vacíos no supera el 5 %.

Las mezclas densamente graduadas tienen un gran número de puntos de contacto entre las partículas, que pueden dar una alta resistencia friccional y reducir la posibilidad de trituración de las partículas en los puntos de contacto. Como el contenido de vacíos es bajo son poco permeables. En las mezclas asfálticas en caliente, deben preferirse agregados con granulometría densa, o muy cercana a la densa.

- b. Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 5 % y el 10%.
- c. Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- d. Mezclas Porosas o Drenantes: utilizadas como carpeta de rodadura, que se caracteriza por tener un elevado porcentaje de huecos interconectados entre sí, permitiendo el paso del agua a través de la mezcla y su rápida evacuación hacia las zonas laterales fuera de las calzadas. La proporción de vacíos es superior al 20 %.

➤ **Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.**

- a. Mezclas Gruesas: donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.

- b. Mezclas Finas: también llamadas micro aglomerado, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un agregado fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

➤ **Por la Estructura del agregado pétreo.**

- a. Mezclas con Esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.
- b. Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

➤ **Por la Granulometría.**

- a. Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico (Zona comprendida entre dos curvas granulométricas).
- b. Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.¹⁷

¹⁷ Padilla, Alejandro. Mezclas Asfálticas. Universidad Politécnica de Cataluña. España, 2003.

2.13. Evaluación y Ajustes en el diseño de una mezcla.

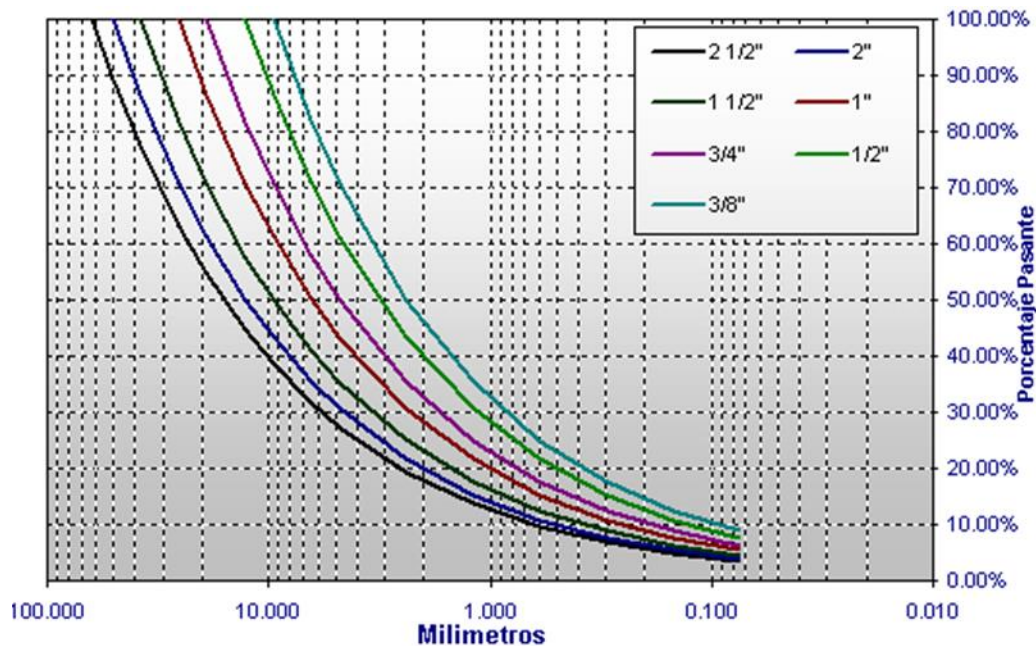
Cuando se desarrolla una mezcla de diseño, es necesario hacer varias mezclas de prueba para encontrar una que cumpla con todos los criterios de diseño. Cada una de las mezclas de prueba sirve como una guía para evaluar y ajustar las pruebas siguientes. Para diseño de mezclas preliminares o exploratorias, es aconsejable comenzar con una graduación de agregado que se acerque a la media de los límites establecidos. Las mezclas de prueba iniciales sirven para establecer la fórmula de trabajo y verificar que la graduación del agregado este dentro de los límites especificados.

Cuando las mezclas de pruebas iniciales fallan con los criterios de diseño en cualquier contenido de asfalto seleccionado, será necesario modificar o, en algunos casos, rediseñar la mezcla. Para corregir una deficiencia, la manera más fácil de rediseñar una mezcla es cambiar la graduación de los agregados ajustando los porcentajes utilizados. Frecuentemente este ajuste es suficiente para cumplir con las especificaciones.

Las curvas granulométricas son de gran ayuda al hacer los ajustes necesarios en los diseños de mezclas. Por ejemplo, las curvas obtenidas de la ecuación de Densidad Máxima de Fuller (grafica 8) representan condiciones de densidad máxima y valores mínimos de vacíos en el agregado mineral (VMA). Las mezclas asfálticas que poseen dichas curvas presentan contenidos de vacío que pueden ser demasiado bajos. Generalmente, cualquier desviación de estas curvas resulta en densidades menores y valores más altos de VMA. La magnitud del cambio en la densidad y en el VMA depende de la cantidad de ajustes hechos en el contenido de agregado grueso o fino de la mezcla.¹⁸

¹⁸ Corredor, Gustavo. Apuntes de Pavimentos Volumen 2. Caracas, 2005.

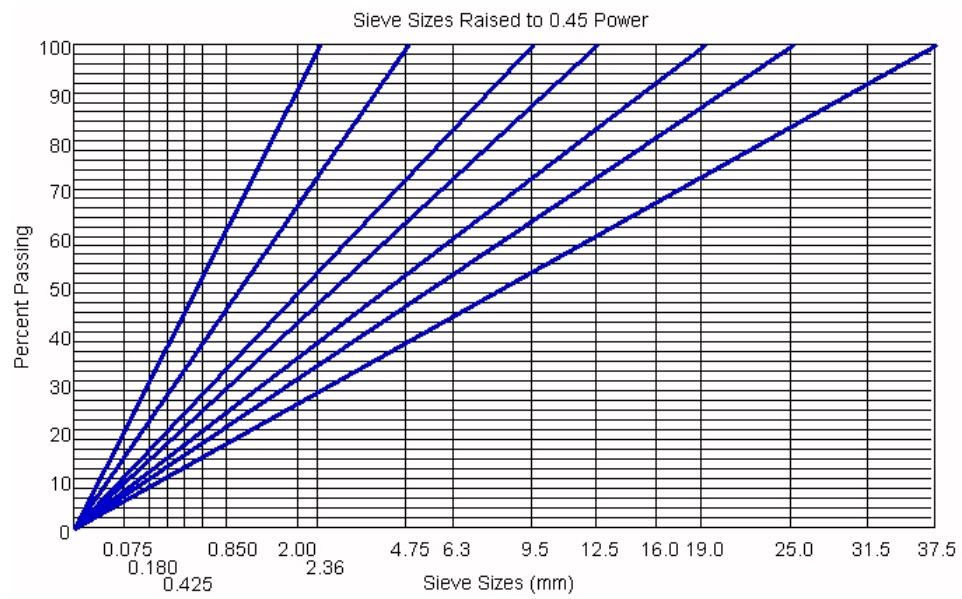
Grafica 2: Curvas Fuller de Máxima Densidad



Fuente: Serie de manuales, MS-22, Instituto del Asfalto

La grafica 9 muestra curvas de densidad máxima dibujadas sobre un gráfico de granulometría de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) (USA) (basada en una escala donde las aberturas de los tamices se elevan a una potencia de 0.45). Muchos diseñadores encuentran conveniente la gráfica del FHWA para hacer ajustes en la granulometría del agregado. Las curvas en la gráfica del FHWA pueden hallarse usando la ecuación de densidad máxima de Fuller, o dibujando una línea recta desde el origen, en la parte inferior izquierda de la gráfica, hasta el tamaño máximo nominal de partícula deseado, en la parte superior. Las granulometrías que se acercan a las líneas rectas tienen, generalmente, valores bajos de VMA, y deben ser ajustadas alejándolas de estas líneas. Dichos ajustes aumentan los valores de VMA, permitiendo así el uso de suficiente asfalto para poder obtener máxima durabilidad sin causar exudación en la mezcla.

Grafica 3: Curvas de Densidad Máximo basadas en un gráfico FHWA de granulometría



Fuente: <http://www.pavementinteractive.org>

2.14. Método Marshall de diseño de M.A.C.

➤ Desarrollo y Aplicación

Los conceptos del método Marshall para el diseño de mezclas de pavimento fueron formulados por Bruce Marshall, un antiguo ingeniero de bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi. Por medio de extensas investigaciones y estudios de correlación, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. mejoró y agregó ciertos elementos al procedimiento del ensayo Marshall y eventualmente desarrolló criterios para el diseño de mezclas. Los procedimientos del ensayo Marshall han sido estandarizados por la Sociedad Estadounidense para Ensayos y Materiales. Los procedimientos se ofrecen en ASTM D 1559, *Resistencia al Flujo Plástico de Mezclas Bituminosas Usando el Aparato Marshall*. Los procedimientos de ensayo que se presentan aquí son básicamente los mismos del método ASTM.

El método Marshall original se aplica solo a mezclas asfálticas en caliente de pavimentación que contienen agregados con tamaños máximos de 25 mm (1 in.) o menor. Para agregados con tamaños máximos de hasta 38 mm (1.5 in.) se ha propuesto un método Marshall modificado. El método Marshall fue concebido para diseños de laboratorio y control en terreno de mezclas asfálticas en caliente densamente graduadas. Debido a que el ensayo de Estabilidad Marshall es por naturaleza empírico, una modificación a los procedimientos estándar hace que los resultados pierdan significado en cuanto al cálculo del comportamiento relativo del terreno.¹⁹

¹⁹ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica. Serie de Manuales MS-2. Asphalt Institute (Traducido del Inglés).

Un ejemplo de este tipo de modificaciones puede ser la preparación de muestras usando materiales recalentados o remodelados.

2.14.1. Resumen del Método

El procedimiento para el método Marshall inicia con la preparación de las muestras de ensayo. Los pasos preliminares para la preparación son:

- a. Todos los materiales que se proponen utilizar cumplen con los requerimientos físicos de las especificaciones del proyecto.
- b. Las combinaciones de mezcla de agregados cumplen con los requerimientos de gradación de las especificaciones del proyecto.
- c. Para realizar el análisis de la densidad y vacíos, se determina la gravedad específica bulk de todos los agregados utilizados en la mezcla y la gravedad específica del cemento asfáltico.

Estos requerimientos se refieren a ensayos de rutina, especificaciones y técnicas de laboratorio que deben tomarse en cuenta al utilizar cualquier método de diseño de mezcla.

El método Marshall utiliza muestras de ensayo estándar de 64 mm (2- 1/2 plg.) de alto x 102 mm (4 plg.) de diámetro. Estas se preparan utilizando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar la mezcla de asfalto y agregados.

Los dos elementos principales del método Marshall para el diseño de mezclas son el análisis de densidad y vacíos, y un ensayo de estabilidad y fluencia de las muestras compactadas.

La estabilidad de la muestra de ensayo es la máxima resistencia de carga en Newtons (lb.) que la muestra estándar desarrollará a 60°C (140°F). El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100 plg), que ocurre cuando la muestra pasa de un estado sin carga al punto de carga máxima durante el ensayo de estabilidad.²⁰

➤ **Preparación de muestras de ensayo**

Para determinar el contenido asfáltico del diseño de una combinación de agregados, se debe preparar una serie de muestras de ensayo para una variedad de contenidos asfálticos, de modo que las curvas de datos del ensayo muestren relaciones bien definidas. Los ensayos deben planificarse sobre la base de incrementos de 1/2 por ciento de contenido asfáltico, con al menos dos contenidos asfálticos por encima del valor esperado del diseño y al menos dos por debajo de este valor.

El contenido de asfalto del “diseño esperado” puede estar basado en todas o cualquiera de las siguientes fuentes: experiencia, fórmula computacional, o la realización de los ensayos de equivalencia centrífuga de queroseno y absorción de aceite lubricante del procedimiento Hveem. Otro método rápido para llegar a un punto de partida es utilizar la guía de proporción polvo-asfalto (0.6 a 1.2). El contenido de asfalto del diseño esperado en porcentaje por el peso total de la mezcla, podrá entonces estimarse como equivalente aproximadamente al porcentaje de agregado de la gradación final que pasa el tamiz de 75 µ m (No. 200).

²⁰ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica. Serie de Manuales MS-2. Asphalt Institute (Traducido del Inglés).

La siguiente ecuación es un ejemplo de fórmula computacional:

$$P = 0.035a + 0.045b + Kc + F \quad \text{en donde:}$$

P = aprox. de contenido asfáltico de la mezcla, porcentaje por peso de la mezcla.

a = porcentaje del agregado mineral retenido en tamiz de 2.36mm (No. 8).

b = porcentaje del agregado mineral que pasa el tamiz de 2.36mm (No. 8) y que se retiene en el tamiz de 75 μ m (No. 200).

c = porcentaje de agregado mineral que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200).

K = 0.15 para 11-15 por ciento que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200)

0.18 para 6-10 por ciento que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200)

0.20 para 5 por ciento que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200)

F = 0 a 2.0 por ciento. Basado en la absorción de agregados ligeros o pesados. A falta de otros datos, se sugiere un valor de 0.7.

Para obtener la suficiente información, al menos tres muestras de ensayo se preparan para cada contenido de asfalto seleccionado. De este modo, un diseño de mezcla Marshall que utiliza seis contenidos distintos de asfalto, normalmente requerirá como mínimo dieciocho muestras de ensayo. Cada muestra de ensayo usualmente requerirá aproximadamente 1.2 kg (2.7 lb) de agregado. Suponiendo que haya una pequeña pérdida, los requerimientos mínimos de agregado para una serie de muestras de ensayo de una combinación y graduación específica serán de aproximadamente 23 kg (50 lb) y unos cuatro litros de cemento asfáltico.

➤ Equipos

Los equipos necesarios para la preparación de las muestras de ensayo son los siguientes:

- a. Bandejas metálicas de fondo plano para calentar agregados.

- b. Cubetas metálicas redondas de aproximadamente 4 litros de capacidad, para mezclar asfalto y agregados.
- c. Horno y Plancha de Calentamiento, preferiblemente con control termostático para calentar agregados, asfalto y equipos.
- d. Cuchara para dosificación de agregados.
- e. Recipientes: vasos de precipitación, recipiente metálico de vaciado, o cazuelas para calentar asfalto.
- f. Termómetros: blindado, de vidrio o tipo dial con eje de metal, desde 10°C (50° F) a 235°C (450° F), para determinar la temperatura de los agregados, el asfalto y de las mezclas.
- g. Balanzas: con capacidad de 5 kg sensible a 1g, para pesar los agregados y el asfalto, y de 2 kg de capacidad, sensible a 0.1g para pesar las briquetas compactadas.
- h. Cucharón para mezclar o pala pequeña.
- i. Espátula grande.
- j. Mezcladora mecánica (opcional): mezcladora comercial para masa de pan de 4 litros de capacidad o mayor, equipada con dos tazones de metal para mezcla y dos agitadores de alambre.
- k. Pedestal de compactación, consistente de una pieza de madera de base cuadrada de 200 x 200 x 460 mm (8 x 8 x18 in.) y provista de una platina cuadrada de acero en la parte superior de 305 x 305 x 25 mm (12 x 12 x 1 in.), firmemente sujeta a esta.

La base de madera debe ser de roble, pino u otra madera cuya densidad seca sea de 670 a 770 kg/m³ (42 a 48 lb/pie³). El conjunto debe fijarse firmemente a una base de concreto solido usando cuatro soportes angulados, debiendo quedar la platina de acero a plomo y todo el conjunto sin posibilidad de movimiento durante la compactación.

- l. Molde de compactación, consistente en una placa de base plana, un molde y collar de extensión. El molde tiene un diámetro de 101.6 mm (4 plg.) y una altura de aproximadamente 75 mm (3 plg.); la placa base y el collar de extensión están diseñados de modo que se pueden intercambiar y sean ajustables a cualquiera de los extremos del molde.
- m. Martillo de compactación, consistente de un pisón circular de 98.4 mm (3-7/8 plg.) de diámetro y equipado con una pesa de 4.5 kg (10 lb) montado de forma que proporcione una altura de caída específica de 457 mm (18 plg.).
- n. Sujetador para el molde, consistente de un dispositivo con resorte de tensión diseñado para mantener el molde de compactación centrado en el pedestal de manera segura.
- o. Discos de papel, 100 mm (4 plg.) para compactación.
- p. Extractor de muestra de acero, en forma de disco con un diámetro no menor a los 100 mm (3.95 plg.) y 13 mm (0.5 plg.) de espesor para extraer las muestras compactadas del molde.
- q. Guantes de soldador para manipular el equipo caliente. Guantes de hule para sacar las muestras del baño de agua.
- r. Crayones, para identificar las muestras de ensayo.

Imagen 2: Pedestal, martillo mecánico y molde utilizado en la preparación de las muestras de ensayo Marshall.



Fuente: Serie de manuales, No 22, MS-22, Instituto del Asfalto

➤ **Pasos para la preparación de muestras de ensayo**

Se recomiendan estos pasos para preparar las muestras de ensayo Marshall:

- a. Número de muestras: Prepare al menos tres muestras para cada combinación de agregados y contenido de asfalto.
- b. Preparación de los agregados: los agregados se deberán secar hasta masa constante a una temperatura de entre 105°C y 110°C (221°F y 230°F) y se separarán por tamizado en seco en los tamaños deseados. Se recomiendan los siguientes tamaños: 25.0 a 19.0 mm (1 a 3/4 in.), 19.0 a 9.5 mm (3/4 a 3/8 in.), 9.5 a 4.75 mm (3/8 in. a No.4), 4.75 a 2.36 mm (No.4 a No.8), más de 2.36 mm (No. 8).

- c. Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación: la temperatura a la que se deberá calentar el asfalto para la mezcla es aquella que produzca una viscosidad 170 ± 20 centistokes; mientras que para la compactación la temperatura será aquella que produzca una viscosidad de $280 + 30$ centistokes. Estas temperaturas pueden estimarse usando una gráfica que muestre la relación entre la viscosidad (tabla de viscosidad en centistokes) versus la temperatura (escala Rankine $^{\circ}R = ^{\circ}R + 459.7$) del cemento asfáltico que será utilizado.
- d. Preparación del molde y martillo: limpie bien el conjunto del molde y la placa del martillo de compactación y caliéntese en baño de agua o en la plancha de calentamiento a una temperatura de entre 95°C y 150°C (200°F y 300°F). Coloque una pieza de papel de filtro o encerado, cortado al tamaño adecuado, en el fondo del molde antes de colocar la mezcla.
- e. Preparación de mezclas: separe en recipientes cada fracción de la muestra, transfiera la cantidad de cada una de las porciones de agregados que se requieren para producir una dosificación que resulte en una muestra compactada de $63.5 + 1.27$ mm (2.5 ± 0.05 in.) de alto. Esto sería normalmente de alrededor de 1.2 kg (2.7 lb.). Por lo general se sugiere preparar una muestra de prueba previa a la preparación de las dosificaciones de agregados. Si la altura de la muestra de prueba supera los límites, se podrá ajustar la cantidad de agregados utilizada en la muestra usando lo siguiente:

Para Unidades del Sistema Internacional (SI):

$$\frac{63.6 \text{ (masa de agregados utilizada)}}{\text{Masa ajustada de agregados}} = \text{altura obtenida de la muestra (mm)}$$

Unidades tradicionales de EEUU:

$$\frac{2.5 \text{ (peso utilizado de agregados)}}{\text{Peso ajustado de agregados}} = \text{altura obtenida de la muestra (plg.)}$$

Coloque los recipientes en el horno o en la plancha de calentamiento a temperaturas que no excedan los 28°C (50°F) por encima de la temperatura de mezcla. (Si se utiliza una plancha de calentamiento, se deberá considerar el uso de espacio muerto, o la colocación de placas deflectoras o una capa de arena por debajo de los recipientes para prevenir el sobrecalentamiento localizado). Cargue el tazón de mezcla con agregados calientes y seque la mezcla completamente. Forme un cráter en el agregado combinado seco y transfiera la cantidad requerida de cemento asfáltico a la mezcla de acuerdo con los pesos calculados de la dosificación. En este punto, la temperatura de los agregados y el asfalto deben estar dentro de los límites de la temperatura de mezclado establecida.

El cemento asfáltico no deberá mantenerse a temperaturas de mezclado por más de una hora antes de utilizarlo. Mezcle los agregados y el cemento asfáltico, de preferencia con una mezcladora mecánica o a mano con una pala, lo más rápido y completo que sea posible para lograr una mezcla con una distribución uniforme de asfalto.

- f) Empacado del molde: coloque toda la dosificación en el molde, golpee vigorosamente la mezcla con una espátula o pala caliente 15 veces alrededor del perímetro y diez veces sobre el interior. Alise la superficie hasta lograr una forma ligeramente redondeada.

La temperatura de la mezcla inmediatamente previa a la compactación deberá estar dentro de los límites establecidos; de lo contrario, se deberá descartar. En ningún caso se deberá recalentar la mezcla.

- g) Compactación de muestras: coloque un papel filtro sobre la superficie de la mezcla y coloque el conjunto del molde sobre el pedestal de compactación del sujetador del molde. Según se especifica de acuerdo a la categoría de tránsito del diseño (ver tabla 4, pág.) aplique 35, 50 o 75 golpes con el martillo de compactación usando una caída libre de 457 mm (18 plg.). Mantenga el eje del martillo de compactación perpendicular con la base del conjunto del molde que sea posible durante la compactación. Retire la placa base y el collar, colóquelos en los extremos opuestos del molde y vuelva amontar el molde. Aplique el mismo número de golpes de compactación a la cara invertida de la muestra. Después de la compactación, retire la placa base y los discos de papel filtro y deje que la muestra se enfríe al aire hasta que no haya deformación al sacarla del molde. En los casos en los que se desea un enfriado más rápido se pueden utilizar ventiladores eléctricos, pero nada de agua a menos que la muestra se encuentre en una bolsa de plástico. Saque la muestra del molde usando una herramienta de extrusión u otro aparato de compresión, luego colóquela en una superficie lisa y a nivel hasta que esté lista para el ensayo. Normalmente, las muestras se dejan enfriar durante una noche.²¹

²¹ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica. Serie de Manuales MS-2. Asphalt Institute (Traducido del Inglés).

➤ **Procedimiento de ensayo**

En el método Marshall, cada una de las muestras de ensayo compactadas son sujetas a una serie de ensayos y análisis en el orden que se enumeran a continuación:

- a. Determinación de Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Bulk)
- b. Ensayo de Estabilidad y Fluencia
- c. Análisis de Densidad y Vacíos

➤ **Equipos**

Los equipos requeridos para el ensayo de muestras de 102 mm (4 plg.) de diámetro x 64 mm (2 ½ plg.) de alto son:

- a. La Máquina de ensayo Marshall, un aparato de ensayo por compresión. Está diseñado para aplicar cargas a muestras de ensayo por medio de cabezas cilíndricas de ensayo de segmentos (dentro de un radio de curvatura de 51 mm (2 plg.) a una tasa constante de tensión vertical de 51 mm (2 plg.) por minuto. Incluye dos bases guías perpendiculares para permitir que los dos segmentos puedan moverse libremente de manera vertical, pero manteniendo su posición horizontal durante el ensayo. Está equipada con un anillo dinamométrico para determinar la carga aplicada en el ensayo, un medidor de estabilidad Marshall para el ensayo de la muestra y un medidor de flujo Marshall para determinar la cantidad de tensión ejercida por la máxima carga del ensayo. También se puede utilizar una maquina universal de ensayo equipada con las cargas apropiadas y aparatos de indicación de deformación.

- b. Tanque de agua, de al menos 150 mm (6 plg.) de profundidad y controlado termostáticamente a $60^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C}$ ($140^{\circ}\text{F} + 1.8^{\circ}\text{F}$). El tanque deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para sostener las muestras por lo menos a 50 mm (2 in.) sobre el fondo del tanque.

➤ **Determinación de Densidad Relativa Aparente**

El ensayo de densidad relativa aparente puede ser realizado tan pronto las muestras recién compactadas se hayan enfriado a temperatura ambiente.

Este ensayo se realiza de acuerdo a ASTM D 1188, Densidad Relativa Aparente de Mezclas Bituminosas Compactadas Empleando Muestras Recubiertas de Parafina, o el ASTM D 2726, Densidad Relativa Aparente de Mezclas Bituminosas Compactadas Empleando Muestras Saturadas de Superficie Seca.

➤ **Ensayos de Estabilidad y Fluencia**

Después de que se ha determinado la densidad relativa aparente de las muestras de ensayo, se llevan a cabo los ensayos de estabilidad y fluencia:

- a. Sumerja la muestra en el baño de agua a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($140^{\circ}\text{F} \pm 1.8^{\circ}\text{F}$) por 30 a 40 minutos antes del ensayo.
- b. Si no está utilizando un aparato de registro automático, ponga en cero el medidor de flujo insertando un cilindro de metal de 101.6 mm (4 plg.) de diámetro en el cabezal de ensayo y colocando el medidor de flujo sobre la barra guía, ajustando así el medidor de flujo para que lea “cero”.

Nota: este ajuste deberá realizarse en la barra guía marcándola con una “O” y emparejando el extremo marcado de la barra guía con el segmento superior del cabezal de ensayo que lleva la misma marca.

El mismo conjunto de cabezal de ensayo y medidor de flujo deberán utilizarse al ensayar las muestras. Las muestras deberán ser de 101.6 ± 0.25 mm (4.00 in. ± 0.01 in.); de lo contrario se requerirá una lectura inicial y final del medidor de flujo para la determinación del valor de flujo.

- c. Limpie completamente la superficie interior del cabezal de ensayo. La temperatura del cabezal deberá mantenerse entre 21.1° a 37.8°C (70° a 100°F) usando baños de agua cuando se requiera. Lubrique las barras guía con una película delgada de aceite para que el cabezal superior pueda deslizarse libremente sin aglutinarse. Si se hubiese utilizado un anillo dinamométrico para medir la carga aplicada, revise para ver si el indicador de dial está firmemente sujetado y puesto en cero en la posición sin carga.
- d. Una vez el aparato de ensayo esté listo, remueva la muestra de ensayo del baño de agua y seque cuidadosamente la superficie. Coloque la muestra en el cabezal inferior y céntrelo; luego coloque el cabezal superior en posición y centre todo el conjunto en el aparato de carga. Coloque el medidor de flujo en la barra guía a como se indica en el inciso (b) anterior.
- e. Aplique la carga de prueba a la muestra, usando una tasa de deformación constante de 51 mm (2 plg.) por minuto hasta que ocurra la rotura. El punto de rotura estará definido por la lectura obtenida con la máxima carga aplicada. El total de Newtons (lb) requerido para producir la rotura de la muestra se deberá registrar como el valor de estabilidad Marshall.
- f. Durante el desarrollo del ensayo de estabilidad, si no se está utilizando un aparato de registro automático, sostenga firmemente el medidor de flujo en posición sobre la barra guía y quítelo cuando la carga comience a decrecer, tome la lectura y regístrela.

Esta lectura es el valor de flujo de la muestra, expresado en unidades de 0.25 mm (1/100 in.). Por ejemplo, si la muestra se deformó 3.8 mm (0.15 in.), el valor de flujo es 15.

- g. El proceso completo, tanto para las mediciones de estabilidad y fluencia, iniciando desde que se saca la muestra del baño de agua, deberá completarse dentro de un período de 30 segundos.

➤ **Análisis de Densidad y Vacíos**

Después de haber completado el ensayo de estabilidad y fluencia, se lleva a cabo un análisis de densidad y vacíos con cada una de las series de muestras de ensayo.

- a. Saque el promedio de los valores de densidad relativa aparente para todas las muestras de un contenido de asfalto dado. Los valores que están claramente errados no deberán incluirse en el promedio. Estos valores de densidad relativa aparente deberán utilizarse más adelante en el cálculo de los datos de vacíos.
- b. Determine el promedio de unidad de peso para cada contenido asfáltico, al multiplicar el promedio de la densidad relativa aparente y la densidad del agua [1,000 kg/m³ (62.4 por pie cúbico)].
- c. Determine la densidad máxima teórica (ASTM D2041) para al menos dos contenidos de asfalto, preferiblemente en aquellos que estén dentro o cerca del contenido de asfalto del diseño. Usando estos valores se saca un valor promedio de la densidad relativa efectiva del total de los agregados. Estos valores pueden luego utilizarse para calcular la densidad relativa máxima de las mezclas con diferentes contenidos de asfalto.
- d. Usando la densidad relativa efectiva y la densidad relativa aparente del total de los agregados, así como el promedio de las densidades relativas aparentes de las mezclas compactadas, la densidad específica del asfalto, y la densidad

específica máxima de la mezcla que se determina en el inciso (c) anterior, calcule el porcentaje de asfalto absorbido por el peso del agregado seco, el porcentaje de vacíos de aire (V_a), el porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en agregados minerales (VAM).

2.14.2. Interpretación de datos del ensayo

➤ Preparación de datos del ensayo

Prepare los valores de estabilidad y fluencia, así como los datos de vacíos:

- a. Los valores de estabilidad medidos para las muestras que están fuera del grosor estándar de 63.5 mm (2 1/2 plg.), deberán convertirse a un valor equivalente a 63.5 mm (2 1/2 plg.), por medio de un factor de conversión. Los índices de correlación aplicables para convertir los valores de estabilidad medidos se incluyen en tabla No.6, página 71. Nótese que la conversión se puede hacer ya sea en base al grosor medido o al volumen medido.
- b. Saque el promedio de los valores de flujo y los valores finales de estabilidad convertidos para todas las muestras de un contenido asfáltico dado. Los valores que sean obviamente incorrectos o errados no se deberán incluir en el promedio.
- c. Prepare un gráfico separado para estos valores y conecte los puntos marcados con una curva regular que indique la “regresión o ajuste lineal” para todos los valores:

- Estabilidad vs Contenido Asfáltico
- Flujo vs Contenido Asfáltico
- Unidad de Peso de la Mezcla Total vs Contenido Asfáltico
- Porcentaje de Vacíos de Aire (Va) vs Contenido Asfáltico
- Porcentaje de Vacíos Llenados con Asfalto (VFA) vs Contenido Asfáltico
- Porcentaje de Vacíos en Agregados Minerales (VMA) vs Contenido Asfáltico

Estos gráficos se utilizan para determinar el contenido asfáltico del diseño de la mezcla.²²

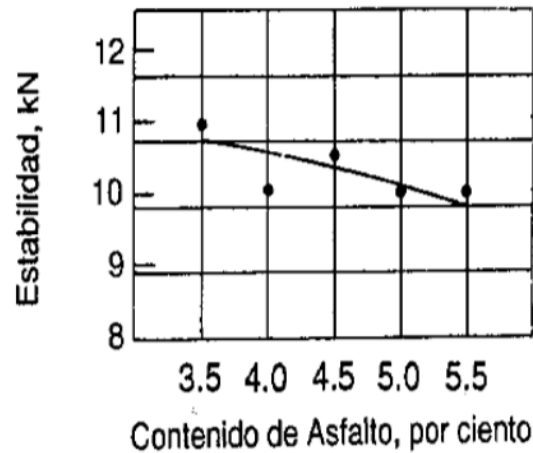
2.14.3. Tendencias y relaciones de los datos de ensayo

Al examinar las curvas de propiedades del ensayo se puede obtener información sobre la sensibilidad de la mezcla al contenido asfáltico. Las curvas de propiedades del ensayo a menudo siguen un patrón razonablemente consistente para aquellas mezclas asfálticas de pavimentación densamente gradadas, aunque pueden ocurrir variaciones. Las tendencias que en general se observan son:

²² Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica. Serie de Manuales MS-2. Asphalt Institute (Traducido del Inglés).

- a. El valor de estabilidad incrementa con el incremento del contenido asfáltico hasta llegar a un máximo después del cual la estabilidad se reduce.

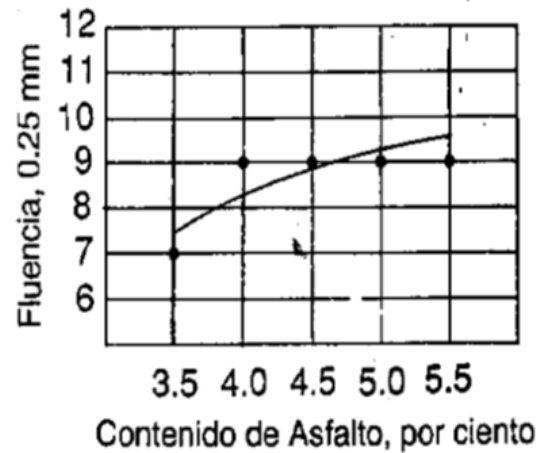
Grafica 4: Estabilidad vs Contenido de Asfalto



Fuente: Serie de manuales, No.80, MS-22, versión español

- b. El valor de flujo aumenta de manera constante con el incremento del contenido asfáltico.

Grafica 5: Fluencia vs Contenido de Asfalto



Fuente: Serie de manuales, No.22, MS-22 versión español.

- c. La curva para la unidad de peso del total de la mezcla sigue una tendencia similar a la curva de estabilidad, exceptuando que el máximo de unidad de peso normalmente (aunque no siempre) ocurre a un contenido asfáltico ligeramente más alto que el del máximo de estabilidad.

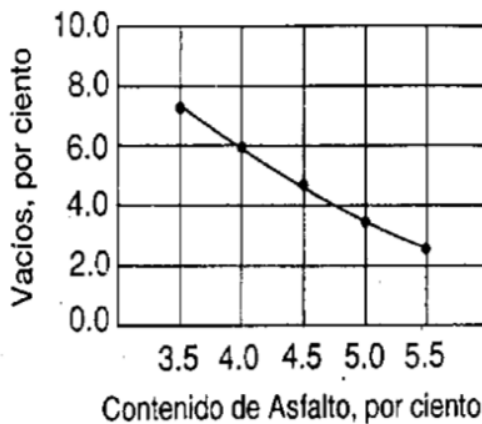
Grafica 6: Peso Unitario vs Contenido de Asfalto



Fuente: Serie de manuales, No.80, MS-22, versión español

- d. El porcentaje de vacíos de aire (V_a) disminuye de forma constante con el aumento del contenido asfáltico, aproximándose en última instancia a un mínimo de vacío.

Grafica 7: Vacíos de Aire vs Contenido de Asfalto



Fuente: Serie de manuales, No.80, MS-22 versión español

- e. Con el incremento del contenido asfáltico, los porcentajes de vacíos en los agregados minerales (VAM o VMA) generalmente disminuyen a un valor mínimo y luego aumentan.

Grafica 8: VAM vs Contenido de Asfalto



Fuente: Serie de manuales, No.80, MS-22 versión español

- f. El porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) incrementan de manera constante con el incremento del contenido asfáltico, debido a que los VAM están siendo llenados con asfalto.

Grafica 9: VFA vs Contenido de Asfalto



Fuente: Serie de manuales, No.80, MS-22 versión español)

2.14.4. Determinación preliminar de contenido de asfalto del diseño

El contenido asfáltico del diseño la mezcla asfáltica de pavimentación se selecciona tomando en cuenta todos los datos antes mencionados. Como punto de partida, el Instituto de Asfalto recomienda elegir el contenido asfáltico en la media de los límites de porcentaje de vacíos de aire, que es de 4 por ciento. Todas las propiedades de la mezcla calculadas y medidas dentro de este contenido asfáltico deberán luego evaluarse, comparándolas con los criterios de diseño de mezcla (ver tabla 4, pág. 69). Si se cumplen todos los criterios, entonces este será el contenido asfáltico preliminar del diseño. Si no se cumplieran todos los criterios de diseño, entonces será necesario hacer algunos ajustes y concesiones, o quizá se deba rediseñar la mezcla.²³

➤ EJEMPLO

Suponga que los datos que se muestran en las gráficas 2 a la 7 representan los ensayos de laboratorio de un diseño de mezcla Marshall, realizados sobre una mezcla asfáltica en caliente densamente gradada que será utilizada en una zona de tráfico pesado. La mezcla contiene un agregado con partículas nominales máximas de $\frac{3}{4}$ in. A cuatro por ciento de vacíos de aire, las propiedades de la mezcla son las siguientes:

Contenido asfáltico, %	4.7
Estabilidad, lb	2,300
Flujo, 0.01 in.	9
VAM, %	14
VFA, %	70

²³ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica. Serie de Manuales MS-2. Asphalt Institute (Traducido del Inglés).

Tabla 4: Criterios de Diseños de Mezcla Marshall

Criterios de Mezcla del Método	Tráfico ligero Superficie y Base		Tráfico medio Superficie y Base		Tráfico pesado Superficie y Base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compactación, número de golpes en cada lado de la muestra	35		50		75	
Estabilidad, N (lb.)	3336 (750)	---	5338 (1200)	--	8006 (1800)	--
Flujo, 0.25	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de Vacíos de Aire	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en agregados minerales (VMA)	Ver Tabla 5.3					
Porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75
NOTAS						
<ol style="list-style-type: none"> 1. Todos los criterios deben tomarse en cuenta para el diseño de una mezcla asfáltica de pavimentación, no solo el valor de estabilidad. Las bases de mezclas asfálticas en caliente que no cumplen con estos criterios cuando se ensayan a 60°C (140°F) son satisfactorias si cumplen los criterios cuando se ensayan a 38°C (100°F) y se colocan a 100 mm (4 in.) o más bajo la superficie. Esta recomendación aplica solo a las regiones que tienen un rango de condiciones climáticas similares a las que prevalecen en la mayoría de los Estados Unidos. En regiones que tienen condiciones climáticas más extremas se puede considerar el uso de una temperatura distinta de ensayo que sea más baja. 2. Clasificaciones de tráfico <ol style="list-style-type: none"> Ligero Condiciones de tráfico que resultan en un EAL de diseño $<10^4$ Medio Condiciones de tráfico que resultan en un EAL de diseño entre 10^4 y 10^6 Pesado Condiciones de tráfico que resultan en un EAL de diseño $> 10^6$ 3. La fuerza de compactación en laboratorio debe aproximarse mucho a la máxima densidad obtenida en pavimento bajo tráfico. 4. El valor de flujo se refiere al punto en el que la carga comienza a reducirse. 5. Al calcular los porcentajes de vacíos de aire se debe tomar en cuenta la porción de cemento asfáltico que se pierde por absorción hacia las partículas de los agregados. 6. El porcentaje de vacíos en los agregados minerales se debe calcular en base la densidad relativa aparente ASTM para el agregado. 						

Fuente: Serie de manuales, No.22, MS-22, Instituto del Asfalto

2.14.5. Selección del diseño de mezcla final

El diseño de mezcla final seleccionado es usualmente el más económico que cumpla satisfactoriamente todos los criterios establecidos. Sin embargo, la mezcla no debe diseñarse para optimizar una propiedad en particular. Las mezclas que llevan valores anormalmente altos de estabilidad son a menudo menos deseables debido a que el pavimento con esas mezclas tiende a ser menos duradero y puede reventarse de manera prematura en volúmenes pesados de tráfico. Esta situación es especialmente crítica si los materiales utilizados en la base y sub-base, por debajo del pavimento, son débiles o permiten una desviación moderada o relativamente alta una vez expuestos al tráfico.

El contenido asfáltico del diseño debe ser una concesión seleccionada para balancear todas las propiedades de la mezcla. Normalmente, los criterios de diseño de mezcla ofrecerán una estrecha gama de contenidos asfálticos aceptables que pasan todas las normas. Esta selección de contenido asfáltico puede ajustarse dentro de este estrecho rango para lograr una propiedad de mezcla que satisfaga los requerimientos de un proyecto específico. Diferentes propiedades son más críticas para distintas circunstancias, en dependencia del tráfico, la estructura, el clima, los equipos de construcción y otros factores. Por lo tanto, el proceso de balanceado no es el mismo para todos los pavimentos y diseños de mezcla.²⁴

²⁴ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica. Serie de Manuales MS-2. Asphalt Institute (Traducido del Inglés).

Tabla 5: Porcentajes Mínimos de VAM

TAMAÑO MAXIMO EN MM (%)		VMA MINIMA , POR CIENTO		
		Vacíos de Diseño,por ciento		
mm	pulgadas	3.0	4.0	5.0
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50.0	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

Fuente: Serie de manuales, No.80, MS-22 versión español)

Tabla 6: Factores de corrección de la Estabilidad medida en briquetas

Volumen de la briketa (m3)	Altura aproximada de la briketa		Factor multiplicador de la estabilidad leida
	mm	pulgadas	
368 a 379	46	1 13/16	1.79
380 a392	47.6	1 7/8	1.67
393 a 405	49.2	1 15/16	1.56
406 a 420	50.8	2.0	1.47
421 a 431	52.4	2 1/16	1.39
432 a 443	54	2 1/8	1.32
444 a 456	55.6	2 3/16	1.25
457 a 470	57.2	2 1/4	1.19
471 a 482	58.7	2 5/16	1.14
483 a 495	60.3	2 3/8	1.09
496 a 508	61.9	2 7/16	1.04
509 a 522	63.5	2 1/2	1.00
523 a 535	64	2 9/16	0.96
536 a 546	65.1	2 5/8	0.93
547 a 559	66.7	2 11/16	0.89
560 a 573	68.3	2 3/4	0.86
574 a 585	71.4	2 13/16	0.83
586 a 598	73.0	2 7/8	0.81
599 a 610	74.6	2 15/16	0.78
611 a 625	76.2	3	0.76

Fuente: Serie de manuales, No.80, MS-22 versión español)

2.15. Lineamientos generales para ajustar las mezclas de prueba.

a. Mezcla con vacíos bajos y estabilidad baja

Los vacíos pueden ser aumentados en varias formas, aun cuando la más convencional es mediante el incremento de la fracción fina, o de la fracción gruesa de la combinación de agregados.

Para ello es útil el empleo de las curvas granulométricas. Cuando, en un gráfico semilogarítmico, se dibujan las curvas de máxima densidad, estas resultan de forma cóncava hacia arriba. Las mezclas preparadas con agregados que tengan tales granulometrías son de trabajabilidad adecuada, es decir de mezclado, extendido y compactado fácil.

Su contenido de vacíos por el contrario es normalmente muy bajo y se hará necesaria una recombinación granulométrica que se aleje de la curva de máxima densidad.

b. Mezcla con vacíos bajos y estabilidad satisfactoria

Un bajo contenido de vacíos puede resultar en mezclas inestables, o que tiendan al fenómeno de exudación, después que el pavimento ha sido expuesto al tráfico por un tiempo determinado (normalmente un año y medio a dos años), a causa de la reorientación de las partículas por efecto de la compactación adicional bajo el paso de los vehículos. Las soluciones a esta condición de mezcla son iguales a las dadas en el caso anterior.

c. Mezcla con vacíos satisfactorio y estabilidad baja.

Esta condición de mezcla asfáltica es generalmente la consecuencia de un agregado de pobre calidad. La solución es generalmente la de incrementar el porcentaje de caras producidas por factura, o de modificar el tipo de ligante hacia uno de mayor viscosidad.

d. Mezcla con vacíos altos y estabilidad satisfactoria

Los altos contenidos de vacíos están siempre asociados con una disminución en la durabilidad de la mezcla. En este caso, el exceso de vacíos no ocupados por el asfalto o los agregados, permiten la fácil circulación del agua y del aire dentro de la mezcla: se produce en mayor grado el fenómeno de la oxidación de las resinas hacia asfáltenos, y la mezcla tiende a envejecer más prematuramente.

e. Mezcla con vacíos altos y estabilidad baja

Se deberán tomar en cuenta dos pasos para este tipo de condiciones; el primero es ajustar el volumen de vacíos mediante los métodos discutidos en los puntos anteriores; y en el segundo, si los ajustes no mejoran la estabilidad, deberá hacer una consideración de la calidad de los materiales, conforme a. y b.²⁵

²⁵ Corredor, Gustavo. Apuntes de Pavimentos Volumen 2. Caracas, 2005.

2.16. Metodología Racional de Análisis de Densificación y Resistencia de Geomateriales Compactados (RAMCODES).

➤ Antecedentes

Metodología Racional, basada en experimentos factoriales, en conceptos de la mecánica de Suelos No Saturados, y en la experiencia práctica de diseño y control, para análisis de densificación y resistencia de geo materiales (suelos, mezclas, y mezclas asfálticas, compactados). Se fundamenta en tres aspectos esenciales, que son: la *clasificación cuantitativa*, que resume las características de un suelo en un valor numérico único en una escala continua, *el potencial de densificación*, que estudia la probabilidad de que el geo material alcance una densidad en un rango de contenidos de agua, o de asfalto, bajo una energía de compactación particular, y *en la relación entre el contenido de agua/asfalto, la densidad, y la respuesta del geomaterial, ya sea de resistencia, deformabilidad, módulos, etc.*, bajo las condiciones particulares de un experimento.²⁶

La aplicación de RAMCODES en mezclas asfálticas se da con la implementación de mapas de resistencias donde se relaciona la gravedad específica y porcentaje de Asfalto y Polígono de Vacíos, que definen un área donde se cumplen todas las especificaciones de vacíos y son relacionados al comportamiento de la mezcla compactada, analizando las propiedades mecánicas.

El objetivo de RAMCODES es el de establecer un puente confiable entre la teoría y la práctica en el proceso de diseño y control de colocación de geomateriales compactados.

²⁶ Sanchez-Leal, F., Garnica, P., Gomez, J., & Perez, N. (2002). RAMCODES: Metodología Racional para el análisis de densificación y resistencia de geomateriales compactados. Sanfandila, Qro.

2.16.1. Aplicaciones a Mezclas Asfálticas.

a. Experimento Factorial

Un experimento factorial es una técnica estadística de análisis que permite estudiar la influencia de varios factores o variables en la respuesta medida en un experimento. Los experimentos factoriales se usan con gran efectividad en la optimización del diseño de producciones industriales combinando métodos gráficos con el estudio de superficies de respuesta en la interpretación de resultados.

RAMCODES está basado en un experimento factorial de dos niveles o factores, a saber: el contenido de asfalto (CA) y el peso específico bulk (Gmb). Como geomaterial, el comportamiento de resistencia y deformabilidad de una mezcla asfáltica puede ser estudiado bajo la concepción de Coulomb de cohesión y fricción. Gmb es una medida directa de la fricción o trabazón entre partículas; y CA es una medida de la cohesión. Esta concepción permite una ventaja práctica dado que CA y Gmb son variables comúnmente utilizadas en el control de compactación de campo.²⁷

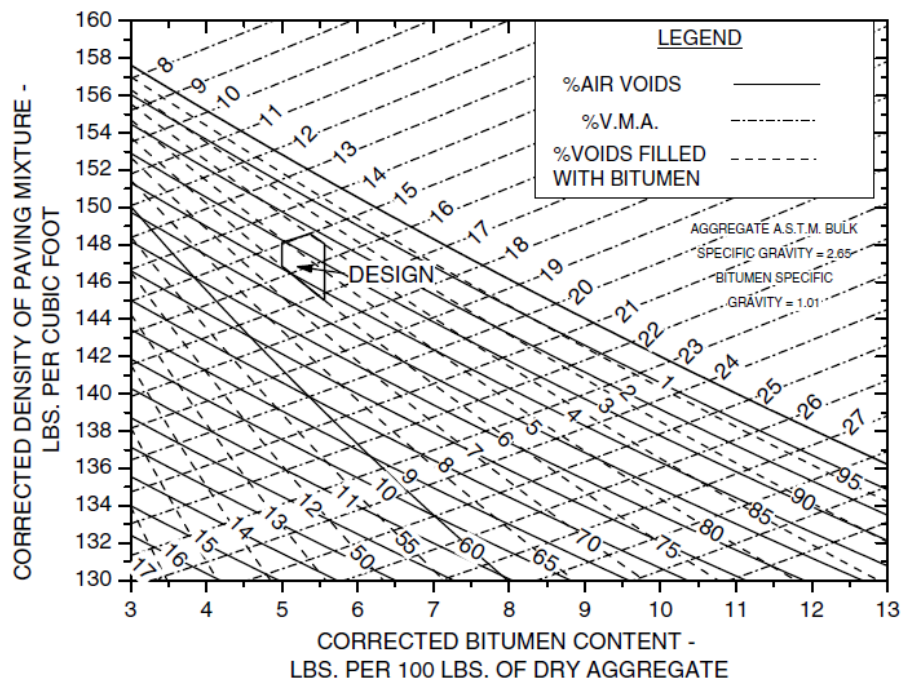
b. Polígono de Vacíos

Para todo geomaterial compactado hay tres propiedades de vacíos nombradas, vacíos totales V_a , porosidad conocida como vacíos en agregado mineral VMA y grado de saturación o vacíos llenados de asfalto VFA. Variables que históricamente se han relacionado al desempeño y durabilidad de la mezcla; como ruteo, envejecimiento, agrietamiento prematuro, alta permeabilidad y fragilidad. (Asphalt Institute 1997).

²⁷ Sanchez-Leal et al.(2002). RAMCODES: Metodología Racional para el análisis de densificación y resistencia de geomateriales compactados. Sanfandila, Qro.

En 1956 Mcleod, propuso la carta de vacíos para diseño e inspección de mezclas bituminosas, él usó definiciones matemáticas para producir familias de curvas con el plano contenido de asfalto – densidad de la mezcla. Esta representación de todos los vacíos produce un área donde todos los vacíos requeridos son encontrados; ya que ellas dependen de constantes como la gravedad específica del asfalto y de los agregados.

Grafica 10: Polígono de Vacíos de Mcleod



Fuente: Freddy Sánchez-Leal

El polígono de vacíos es una herramienta analítica para obtener la fórmula de trabajo para toda M.A.C. basadas en especificaciones de vacíos.²⁸

La técnica cubre el desarrollo de expresiones analíticas y construcciones que permiten representar las definiciones de vacíos para cada una de las especificaciones de vacíos.

²⁸ Sanchez-Leal, F., Garnica, P., Larreal, M. & Lopez, D. (2011). Polyvoids: Analytical Tool for Superpave HMA Design. Journal of Materials in Civil Engineering ASCE. <http://www.ascelibrary.org>

Las ecuaciones de vacíos totales, vacíos en agregados minerales y vacíos llenados de asfalto desarrollados por el Ingeniero Sánchez Leal 2004 equivalentes a las presentadas por Roberts et al. (1996) son las siguientes:

$$Gmb = \frac{(1-Va)}{\frac{Pb}{Gb} + \frac{(1-Pb)}{Gse}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Cuando $Va = 0$ produce la ecuación de máxima saturación o función Rice. Esta ecuación representa un límite físico.

$$Gmb = \frac{1}{\frac{Pb}{Gb} + \frac{1-Pb}{Gse}} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$Gmb = \frac{(1-VMA) \cdot Gsb}{(1-Pb)} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$Gmb = \frac{VFA}{\frac{Pb}{Gb} + \frac{(1-Pb)}{Gse} - \frac{(1-S)(1-Pb)}{Gsb}} \quad \text{Ec. (4)}$$

La ecuación (3) y (4) corresponden a la proporción de vacíos en agregado mineral o VMA y los vacíos llenados de asfaltos conocidos como VFA respectivamente.

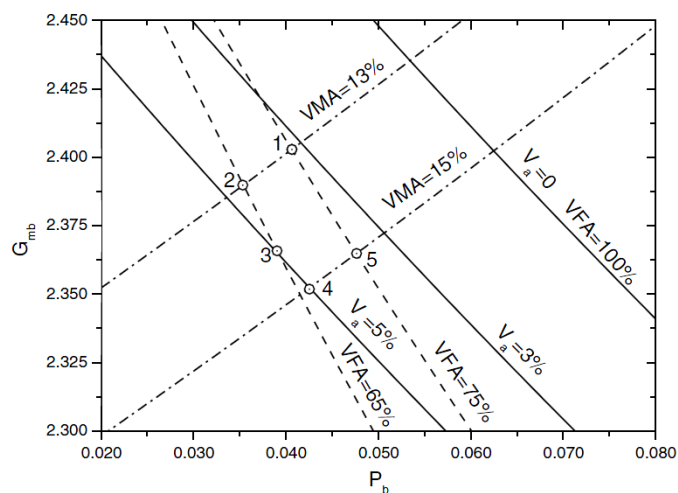
La solución de los puntos donde se intersectan las rectas de estas ecuaciones, permite la representación gráfica de los valores de respuesta en el marco Pb-Gmb generando una gráfica de contorno que viene a ser una imagen de la superficie de respuesta para el parámetro mecánico seleccionado (estabilidad, flujo).

Los vacíos son una función del Pb y del Gmb, y las especificaciones de vacíos se representan en los mapas como iso-líneas.

La intersección de estas líneas produce una construcción gráfica llamada “polígono de vacíos” definida como la máxima región en el espacio P_b - G_{mb} donde se cumplen todas las especificaciones de vacíos.²⁹

El polígono de vacíos resulta una herramienta muy útil, no sólo en el diseño, sino también en el control de compactación, y en la rehabilitación.

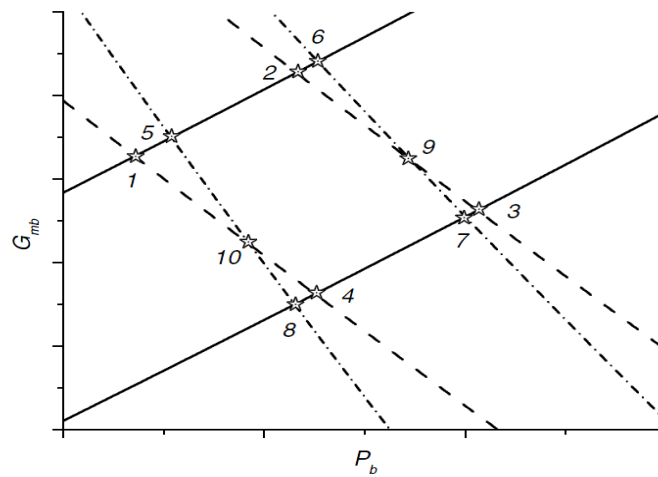
Grafica 11: Construcción Polígono de Vacíos



Fuente: Freddy Sánchez-Leal

²⁹ Sanchez-Leal et. al. (2002). RAMCODES: Metodología Racional para el análisis de densificación y resistencia de geomateriales compactados. Sanfandila, Qro.

Grafica 12: Llaves de intersección del Polígono de Vacíos



Fuente: Freddy Sánchez-Leal

En la tabla 7 siguiente se indican 10 puntos de intersecciones de las curvas de definición de vacíos para graficar el polígono, de las cuales cinco o seis intersecciones de interés son usadas (i.e., llaves de intersección), para graficar el polígono de un geomaterial.

Tabla 7: Puntos de Intersección del Polígono de Vacíos

No.Intersección	Curva de intersección	
1	(Va) _{max}	(VMA) _{min}
2	(Va) _{min}	(VMA) _{min}
3	(Va) _{min}	(VMA) _{max}
4	(Va) _{max}	(VMA) _{max}
5	(VFA) _{min}	(VMA) _{min}
6	(VFA) _{max}	(VMA) _{min}
7	(VFA) _{max}	(VMA) _{max}
8	(VFA) _{min}	(VMA) _{max}
9	(VFA) _{max}	(Va) _{min}
10	(VFA) _{min}	(Va) _{max}

Fuente: Freddy Sánchez-Leal

Las llaves de intersección se obtienen analíticamente de las ecuaciones 1, 2, 3, 4 que según el escritor ha encontrado nueve casos de polígonos, dependiendo de la relativa posición de las intersecciones de las curvas. Todos los casos de polígonos son definidos después de la respuesta a cuatro preguntas lógicas binarias 0, 1 mostrados en la tabla 8.

Tabla 8: Preguntas Lógicas para definir casos de Polígonos de Vacíos

Pregunta No.	Pregunta	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	$(G_{mb})_5 > (G_{mb})_1$	0	1	1	1	1	1	1	0	0
2	$(G_{mb})_2 > (G_{mb})_6$	0	0	1	0	1	0	0	1	0
3	$(G_{mb})_7 > (G_{mb})_3$	0	0	0	1	0	0	1	0	1
4	$(G_{mb})_8 > (G_{mb})_4$	1	0	0	1	1	1	0	0	0
Casos de llaves de intersección		1,2 9,7 4	5,2 9,7 4, 10	5,6 7,4 10	5,2 3,7	5,6 7,8	5,2 9,7 8	5,2 3,4 10	1,6 7,4	1,2 3,4

Fuente: Freddy Sánchez-Leal

Finalmente, esto es un hecho, que en cualquiera de las condiciones de polígonos de vacíos se encuentran todas las especificaciones de vacíos que **RAMCODES** necesita aproximar para proponer un diseño de contenido de asfalto, conocido como fórmula de trabajo.

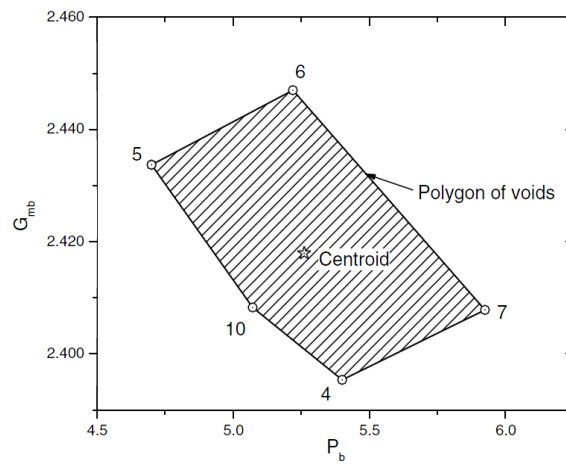
Por definición el centroide es dado como los promedios de las coordenadas de todos los vértices constituye el porcentaje óptimo de asfalto, por medio de las formulas siguientes.³⁰

$$(Pb)_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n (Pb)_i}{n} \quad \text{Ec. (5)}$$

$$(Gmb)_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n (Gmb)_i}{n} \quad \text{Ec. (6)}$$

³⁰ Sanchez-Leal et al.(2011).Polyvoids:Analytical Tool for Superpave HMA Design.Journal of Materials in Civil Engineering ASCE.<http://www.ascelibrary.org>

Grafica 13: Polígono Vacíos y Centroide



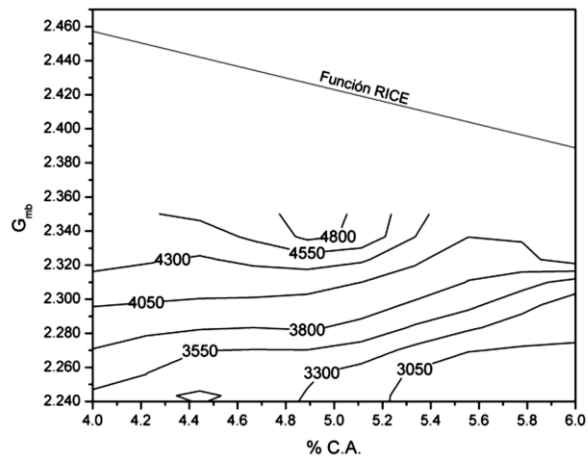
Fuente: Freddy Sánchez-Leal

c. Mapas de Resistencia

Los mapas permiten analizar la variación de las propiedades mecánicas (estabilidad, flujo) en un rango de estudio. Por ejemplo, para esta mezcla, la estabilidad se incrementa prácticamente sólo con el incremento de G_{mb} . Por el otro lado, el flujo parece incrementarse con el CA, sin afectarse por algún cambio de G_{mb} . (Sánchez-Leal et al., 2002, p.32, 33).³¹

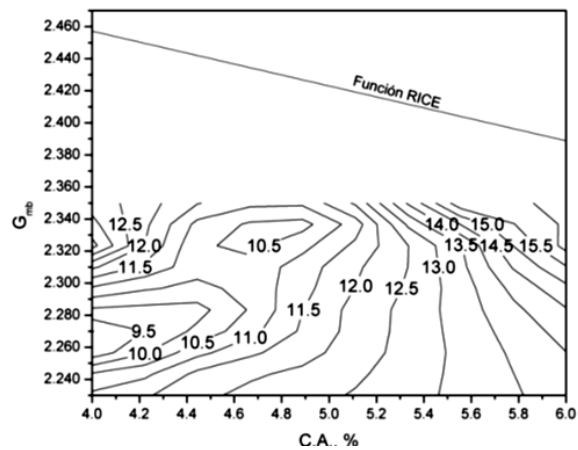
³¹ Sanchez-Leal et. al. (2002). RAMCODES: Metodología Racional para el análisis de densificación y resistencia de geomateriales compactados. Sanfandila, Qro.

Grafica 14: Mapa de Resistencia para Estabilidad Marshall, en lb



Fuente: Freddy Sánchez-Leal

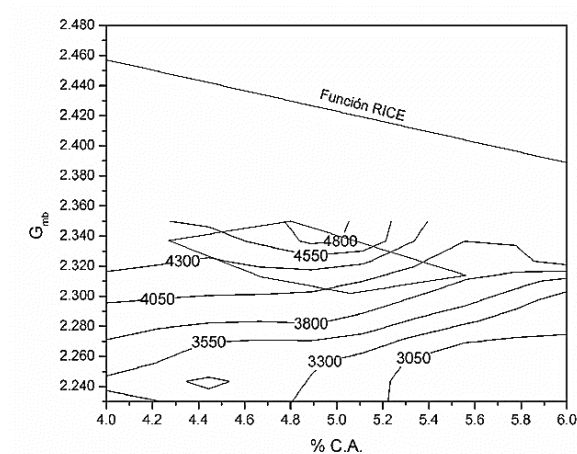
Grafica 15: Mapa de Resistencia para el Flujo Marshall, en centésimos de plg.



Fuente: Freddy Sánchez-Leal

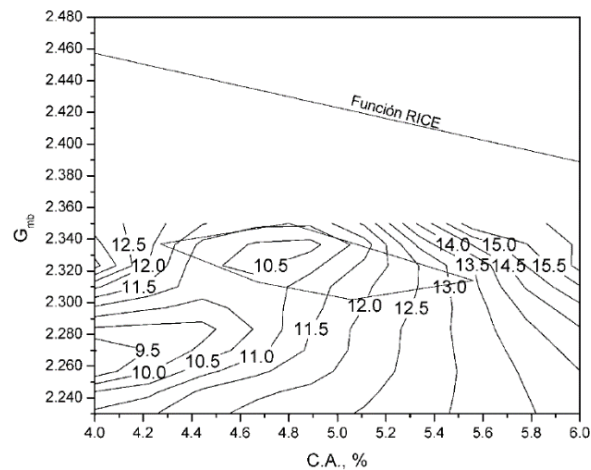
La superposición de los mapas sobre el polígono de vacíos devuelve una visión de la variación de las propiedades mecánicas dentro del área donde se cumplen las especificaciones de vacíos. Las Figuras 19 y 20 presentan esta superposición para el caso de una mezcla en estudio. Obsérvese que, dentro del polígono de vacíos, la estabilidad varía entre 3900 y 4800 lb, y el flujo varía entre 10.5 y 13.0 centésimos de pulgada. Estos valores cumplen con las especificaciones típicas para estas propiedades mecánicas. De esta manera, el polígono de vacíos se convierte en una región de control de calidad para la aceptación de lotes de mezcla compactada.

Grafica 16: Superposición del Polígono de Vacíos en el Mapa de Estabilidad



Fuente: Freddy Sánchez-Leal

Grafica 17: Superposición del Polígono de Vacíos en el mapa de Flujo



Fuente: Freddy Sánchez-Leal

d. Variación de la Producción

La graduación es uno de los factores que más afecta el producto industrial llamado mezcla asfáltica, esta es la razón por la que el control de su variación es un aspecto de significativa importancia en el aseguramiento de la calidad de este producto. El factor característico, F_p , describe cuantitativamente un geomaterial basado en su proporción granulométrica y en la superficie específica de sus finos.

$$F_p = 1.1 \times \frac{F}{(1 + G)} \quad \text{Ec. (7)}$$

F es la proporción de finos (pasa #200), G es la proporción de grava (retenido en #4). En general, mientras mayor es el F_p , más fino es el material.³²

³² Sanchez-Leal et. al. (2002). RAMCODES: Metodología Racional para el análisis de densificación y resistencia de geomateriales compactados. Sanfandila, Qro.

CAPITULO III:
DISEÑO METODOLOGICO

La presente investigación tendrá un carácter de tipo *Descriptiva Evaluativa*. Puesto que describiremos y emplearemos el método Marshall para el Diseño de Mezclas Asfálticas y evaluaremos por la Metodología Ramcodes los porcentajes óptimos de asfalto y propiedades mecánicas de las mezclas.

3.1. Revisión de la literatura

Recopilación, revisión y análisis del Estado del Arte sobre estudios similares.

3.2. Caracterización de los Agregados Pétreos.

- a. Muestreo de agregados triturados con granulometría nominal de 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") procedentes de tres bancos distintos de agregados; de Managua (Banco: El Portillo, Empresa: Proinco) y Ciudad Sandino (Banco: Xiloá), y de la Región Atlántica Sur (Banco: Millones, Empresa: Meco). Basado en la norma AASHTO T 2-91(2000) y su equivalente ASTM D 75 - 85 (1992).
- b. Reducción de agregados basado en la norma AASTHO T 248 - 02 y su equivalente ASTM C 702-98 (2003).
- c. Análisis Granulométrico, determinado por un análisis de tamices efectuado sobre las muestras de agregados.
- d. Ensayos a los agregados para utilizarlos en M.A.C.:

Agregado Grueso: Gravedad Específica, absorción, desgaste de los ángeles, índice de durabilidad.

Agregado Fino: Equivalente de arena, Gravedad Especifica, absorción, índice de durabilidad, intemperismo acelerado 5 ciclos.

3.3. Diseño de M.A.C. por el Método Marshall

El procedimiento del Método Marshall comienza con la preparación de las briquetas de Ensayo. Previamente se requiere que:

- a. Los materiales, tanto pétreos como el cemento asfáltico, cumplan con las especificaciones de calidad establecidas en las normas.
- b. La combinación de los agregados resulte dentro de las especificaciones granulométricas establecidas para mezcla seleccionada.
- c. Que se hayan determinado los pesos específicos bulk y aparente de los diversos agregados a emplear en el diseño.
- d. Que se conozca el peso específico aparente del cemento asfáltico (G_b), a 25°C.

Se utilizan briquetas de 100 mm (4 pulg.) de diámetro y 63.5 mm (2.5 pulg) de altura, las cuales son preparadas siguiendo un procedimiento normalizado de calentamiento, mezclado y compactación dinámica de la mezcla.

El desarrollo del método de ensayo sigue dos etapas:

Primera etapa: Análisis de densidad y vacíos. Mediante el cual se determina la composición volumétrica de la mezcla.

Segunda Etapa: ensayo de estabilidad y flujo de las briquetas compactadas, que permite determinar las propiedades mecánicas de la mezcla.

3.3.1. Proceso de laboratorio

La explicación detallada de las etapas de análisis de densidad y vacíos, y de las propiedades mecánicas del método de ensayo se presentan en el capítulo 2, páginas 59 a la 67.

Etapas fundamentales del método Marshall.

- a. Pesaje de los agregados, calentamiento del asfalto y de los agregados.
(Ver Anexo A-1-1, fotografía 1).
- b. Expresión del contenido de asfalto y adición del asfalto.
(Ver Anexo A-1-2, fotografía 2).
- c. Mezclado de los agregados y el asfalto, y preparación de las briquetas. (Ver Anexo A-1-3, fotografía 3; Anexo A-1-4, fotografía 4).
- d. Compactación y curado de las briquetas, 75 golpes por cada cara, para tipo de tráfico pesado. (Ver Anexo A-1-5, fotografía 5; Anexo A-1-6, fotografía 6).
- e. Pesado de las briquetas y análisis de densidad y vacíos. (Ver Anexo A-1-7, fotografía 7; Anexo A-1-8, fotografía 8).
- f. Determinación de la Gravedad Máxima Teórica de la mezcla sin vacíos "Gmm". (Ver Anexo A-1-9, fotografía 9; Anexo A-1-10, fotografía 10).
- g. Determinación de la estabilidad y flujo. (Ver Anexo A-1-11, fotografía 11).

3.3.2. Interpretación de los datos del ensayo.

Representación gráfica de los resultados de los ensayos y del análisis de densidad y vacíos:

- Estabilidad vs Contenido Asfáltico
- Flujo vs Contenido Asfáltico
- Unidad de Peso de la Mezcla Total vs Contenido Asfáltico
- Porcentaje de Vacíos de Aire o Totales (Va) vs Contenido Asfáltico
- Porcentaje de Vacíos llenados con Asfalto (VFA) vs Contenido Asfáltico
- Porcentaje de Vacíos en Agregados Minerales (VMA) vs Contenido Asfáltico

3.3.3. Determinación del contenido de asfalto de diseño.

Se entra en la curva de vacíos totales vs contenido de asfalto con el 4% de vacíos totales y se traza una perpendicular al eje de las ordenadas hasta cortar la curva de mejor ajuste de los Va .En el punto de corte con esta curva se traza una perpendicular al eje de las abscisas; el punto de intersección en este eje corresponde al "*optimo probable de asfalto*" .Todas las propiedades de la mezcla calculadas y medidas dentro de este contenido de asfalto deberán luego evaluarse, comparándolas con los criterios de diseño de mezcla.

3.4. Análisis de los diseños Marshall con la Metodología RAMCODES

Revisión del porcentaje óptimo de asfalto de las mezclas:

- Trazo del Polígono de Vacíos. Para ello se emplea una hoja programada en Excel Elaborada por Freddy J. Sánchez-Leal 2004-2009, que contiene las ecuaciones de vacíos de las mezclas (Ver capítulo II, página 77), en función de todas las especificaciones de vacíos; vacíos totales "Va", Vacíos en agregado mineral "VAM" y vacíos llenados de asfalto "VFA".
- Uso de la gravedad específica del cemento asfáltico, la gravedad específica bulk de la combinación de agregados y la gravedad específica efectiva de los agregados de cada uno de los bancos en estudio, para el trazo del Polígono de Vacíos.

Revisión de las propiedades mecánicas de las mezclas:

- Análisis de correlación entre las especificaciones de vacíos y las propiedades mecánicas de las mezclas diseñadas. Utilizando el programa Excel, se superpone el Polígono de Vacíos sobre el gráfico de estabilidad y Polígono de Vacíos sobre el gráfico de flujo, para representar los Mapas de Resistencia.

CAPITULO IV:

ANALISIS Y RESULTADOS

4.1. Diseños de M.A.C. con el Método Marshall

Los diseños de M.A.C., se elaboraron en el Instituto de Suelos y Materiales S.A. (INSUMA). Ver informes de laboratorio en anexo A - 2.

Utilizamos la siguiente nomenclatura para diferenciarlos de acuerdo a la empresa, banco de material y departamento de procedencia de los agregados grueso y fino, así como del cemento asfáltico utilizado para la elaboración de cada uno de ellos.

Tabla 9: Nomenclatura utilizada para las M.A.C. diseñadas

MEZCLA	AGREGADO GRUESO Y FINO(PLANTA,DEPARTAMENTO,BANCO)	CEMENTO ASFALTICO
MAC-1-AC	PROINCO,MANAGUA, EL PORTILLO	AC-30 UNO CONVENCIONAL
MAC-2-PG	PROINCO,MANAGUA, EL PORTILLO	PG 76-22 PUMA MODIFICADO CON POLIMERO
MAC-3-AC	MECO, CHONTALES,MILLONES	AC-30 UNO CONVENCIONAL
	MANAGUA,XILOA	

Fuente: Propia

4.2. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados grueso y fino de las mezclas

Para la fabricación de las mezclas de la investigación se utilizaron agregados con tamaño máximo 1/2 pulg o 9.5mm (gruesos) y de 1/4 pulg. (finos) proveniente de tres bancos de materiales diferentes:

➤ Banco el Portillo

Los agregados son producidos por la Empresa Proinco, localizada en Veracruz, departamento de Managua.

Son rocas de tipo basáltico. Para su extracción normalmente se utiliza una explosión controlada con dinamita para liberarlas, estas se transportan por una banda o camión hacia la trituradora, donde pasa por una serie de etapas de trituración para producir distintas estructuras granulométricas tales como: arena (material cero), 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", piedra bolón y productos especiales.

➤ Banco Millones

Los agregados son producidos por la Empresa MECO, localizada en Los Millones, departamento de la Región Atlántica Sur. Son rocas de tipo basáltico y su extracción es similar a la realizada por la Empresa Proinco.

➤ Banco Xiloá.

La arena que se utilizó es procedente de Ciudad Sandino, departamento de Managua, del banco de Xiloá. Este agregado se encontró en su estado natural, por lo que no requirió ningún proceso de trituración. Su origen es volcánico.

Los resultados de análisis de caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados grueso y fino (Ver Anexo A-2-1, página 5; Anexo A -2- 2, página 6; Anexo A -2-3, páginas 5 y 6), son resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 10: Análisis de las Propiedades Físicas de los Agregados Grueso y Fino (TM 1/2 pulg.)

DESCRIPCION DEL ENSAYO	METODO	U.M.	BANCO EL PORTILLO	BANCO MILLONES	XILOA
AGREGADO GRUESO					
Peso Volumetrico secos sueltos	ASTM C29	kg/m3	1724	1409	-
Peso Volumetrico secos varillados	ASTM C29	kg/m3	1822	1568	-
Gravedad Especifica(s)	ASTM C127	kg/m3	2.775	2.629	-
Absorción	ASTM C127	%	2.50	2.4	-
Desgaste de los angeles	ASTM C131	%	32.20	20.9	-
Indice de durabilidad del Grueso	ASTM C210	%	90	-	-
AGREGADO FINO					
Equivalente de arena	ASTM D-2419	%	83	74	66
Peso Volumetrico secos sueltos	ASTM C29	kg/m3	1736	1601	1463
Peso Volumetrico secos varillados	ASTM C29	kg/m3	1963	1877	1595
Gravedad Especifica(s)	ASTM C128	kg/m3	2.886	2.69	2.327
Absorción	ASTM C128	%	0.9	1.8	5.49
Indice de durabilidad	ASTM C210	%	93	-	-
Intemperismo acelerado ,5 Ciclos	ASTM C88	%	37.9	-	-

Fuente: Propia

4.3. Granulometría de los agregados para las mezclas asfálticas

La composición granulométrica empleada para la investigación, corresponden a la especificación estándar de mezclas asfáltica para pavimento D 3515-01, Tabla 1, composición de mezclas de pavimento bituminosos designación D-6 para mezclas densas, con tamaño nominal máximo de 3/8" (Ver Anexo A-6, página 3).

Los límites de acción, que controlan la uniformidad de la producción de la mezcla asfáltica, están tomados de la especificación ASTM D 3515, Tabla 3, los cuales indican los valores para cada tamiz de control. (Ver Anexo A-6, página 4).

Los resúmenes de los análisis granulométricos son presentados a continuación. (Ver Anexo A-2-1, página 9; Anexo A-2-3, página 9).

Tabla 11: Granulometría Combinada de Agregados utilizadas en los diseños de M.A.C.

ASTM 3515 - Tabla 1 - Columna 6							
TAMAÑO TAMIZ		EL PORTILLO			MILLONES		
mm	Plg	Huso inf.	Huso sup.	PASA (%)	Huso inf.	Huso sup.	PASA (%)
19.00	3/4	100	100	100	100	100	100
12.50	1/2	100	100	100	100	100	100
9.50	3/8	90	100	94	90	100	95
4.75	No.4	55	85	63	55	85	57
2.36	No.8	32	67	40	32	67	38
1.18	No.16	-	-	26	-	-	27
0.60	No.30	-	-	18	-	-	20
0.30	No.50	7	23	13	7	23	14
0.15	No.100	-	-	10	-	-	10
0.075	No.200	2	10	7.1	2	10	7.5

Fuente: Propia

4.4. Combinación de agregados grueso y fino

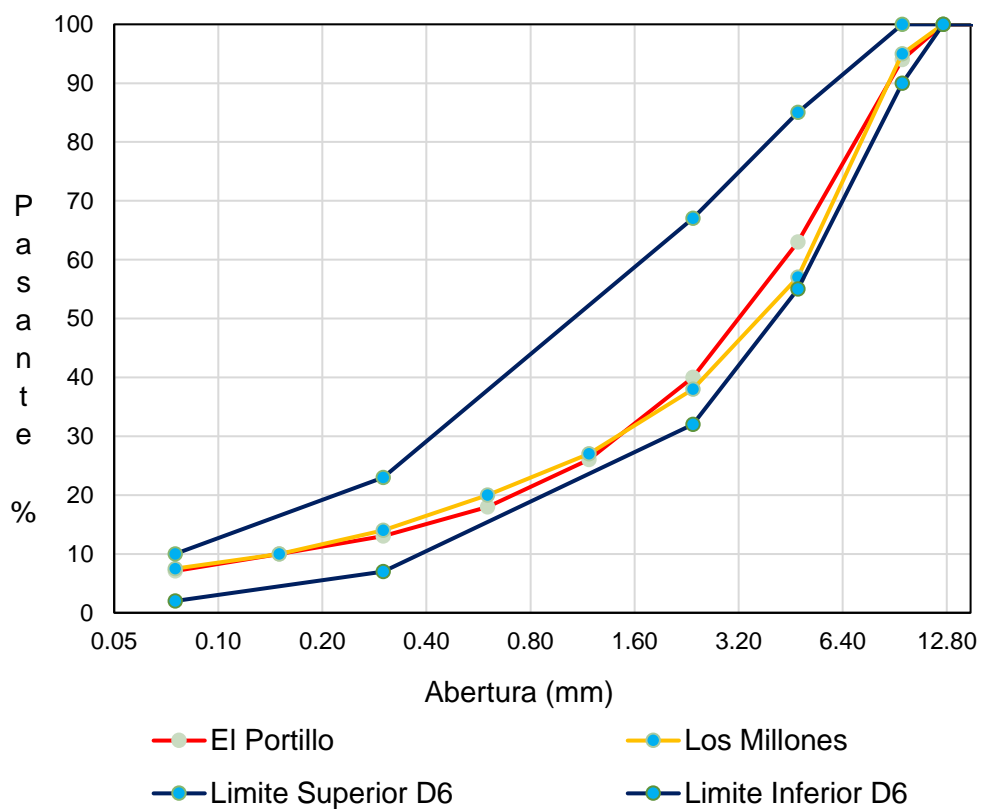
Tabla 12: Combinación de agregados para las mezclas de diseño.

AGREGADOS	PROPORCIONES		
	MAC-1-AC	MAC-2-PG	MAC-3-AC
AGREGADO GRUESO	60%	60%	50%
AGREGADO FINO	40%	40%	50%

Fuente: Propia

4.5. Representación gráfica de las curvas granulométricas de los bancos en estudio.

Grafica 18 : Curvas Granulométricas de los bancos, con límites de producción ASTM D 3515



Fuente: Propia

4.6. Cemento asfáltico utilizado en los diseños de M.A.C.

➤ Cemento asfáltico AC-30 UNO PETROL

Es el cemento asfáltico que se utilizó para la elaboración del diseño **MAC-1-AC** con agregados del banco el Portillo y del diseño **MAC-3-AC** con agregados del banco Millones. Con peso específico a 60°F (15.5°C) de 1,037 kg/m³, proveniente de la planta UNO Petrol de Nicaragua. (Ver Anexo A - 4).

➤ Cemento asfáltico PG 76-22 PUMA modificado

Es el cemento asfáltico que se utilizó en el diseño **MAC-2-PG** con agregados del banco el Portillo. Con peso específico de 1,010 kg/m. El asfalto normal es proveniente de la empresa PUMA de Nicaragua y es modificado por la empresa SOLTEC de Nicaragua, muestreado bajo norma ASTM 140-01 el 28 de septiembre de 2016. (Ver Anexo A - 5).

Tabla 13: Características generales de los Cementos Asfálticos utilizados en los diseños

ENSAYO	METODO	UNIDAD	ESPECIFIC.	AC-30 UNO	PG 76-22 PUMA
Ensayos sobre el asfalto Original					
Penetracion (25°C, 100 g, 5 s)	ASTM D-5	0.1 mm	80-100	85	
Indice de penetración	INV. E-724		-1/+1	-0.5	
Viscosidad absoluta (60°C)	ASTM D-4402	Poises	1000 min	1400	
Viscosidad Brookfield a 135°C SC4-27	ASTM D-4402	Poises	3000 Max		2738
Ductilidad (25°C, 5 cm/min)	ASTM-113	cm	1000 min	>105	
Solubilidad en Tricloroetileno	ASTM D-2042	%	99 min	>99	
Contenido de agua	ASTM D-95	%	0.20 max	<0.20	
Punto de inflamacion COC	ASTM D-92	°C	232 min	295	>300
Angulo de fase (δ) a 82°C	ASTM D-7175	°	Reportar		61.22
Ensayos sobre el Residuo luego del RTFOT					
Pérdida de masa por calentamiento a 163°C,	ASTM D-2872	%	1.0 max	0.2	Despecciable
Penetracion (25°C, 100 g, 5 s)	ASTM D-5	%	48 min	65	
Modulo Reológico de corte Dinámico a 82°C G*/Senδ	ASTM D 7175	Kpa	2.2 min		2.329

Fuente: Propia

4.7. Resultados de los diseños de M.A.C. con el Método Marshall

Las gráficas obtenidas en los resultados de los diseños Marshall, indican los porcentajes óptimos de asfalto y los valores de control del diseño como Estabilidad, flujo, vacíos totales (Va), vacíos en agregado Mineral (VMA), vacíos llenados de asfalto (VFA), relación polvo asfalto y densidad máxima teórica (Gmm), resumidos en la siguiente tabla(Ver Anexo A-2-1, página 17 ;Anexo A -2- 2, página 16; Anexo A -2-3, página 15).

Tabla 14 : Parámetros de Diseño Marshall y valores obtenidos para los Diseños en Estudio

PARAMETROS MARSHALL	U.M.	CRITERIOS DE DISEÑO	VALORES		
			MAC-1-AC	MAC-2-PG	MAC-3-AC
Contenido Optimo de Asfalto	%mezcla	-	5.95	5.48	6.2
Estabilidad	LBS	1800 MINIMO	4340	4900	3940
Flujo	(0.01 in)	8 MIN - 14 MAX	13.6	9.35	11.9
Densidad	kg/m3	-	2.530	2.538	2.336
Densidad Maxima Teorica /Gmm	kg/m3	-	2.636	2.643	2.436
VA	%	4 - 5	4	4	4
VMA	%	13 % MIN	15.7	15.1	15.3
VFA	%	65 - 75	73.5	73	72.6
Relación Polvo/Asfalto	-	0.6 - 1.30	1.19	1.3	1.21

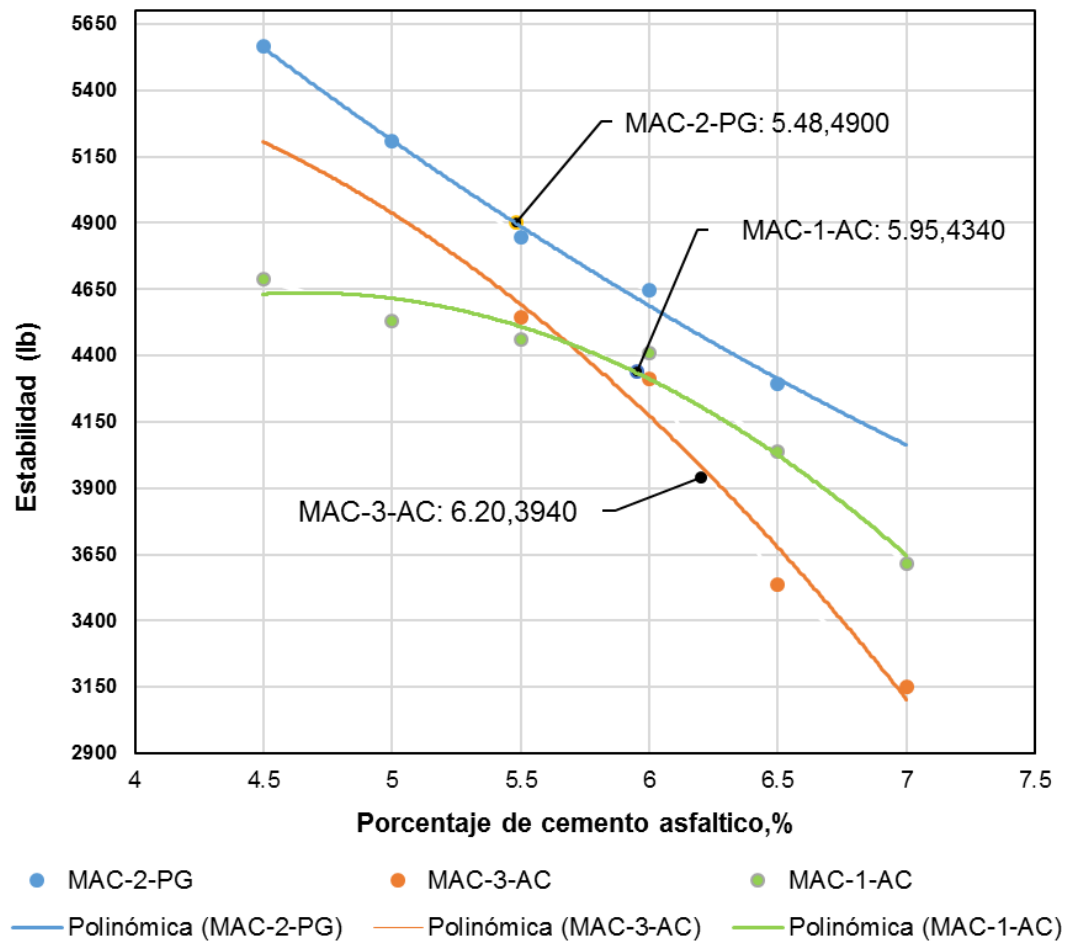
Fuente: Propia

Se logra observar que con los porcentajes de asfaltos del diseño se lograron cumplir con todas las especificaciones de vacíos, así como los parámetros físicos mecánicos como la estabilidad, el flujo y la relación polvo asfalto. (Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1 y Cuadro 405-2).

4.8. Análisis de las curvas de propiedades de los 3 diseños de M.AC. .

4.8.1. Estabilidad (Norma: mínimo 1800 lb)

Grafica 19: Estabilidad de los 3 diseños de M.A.C.

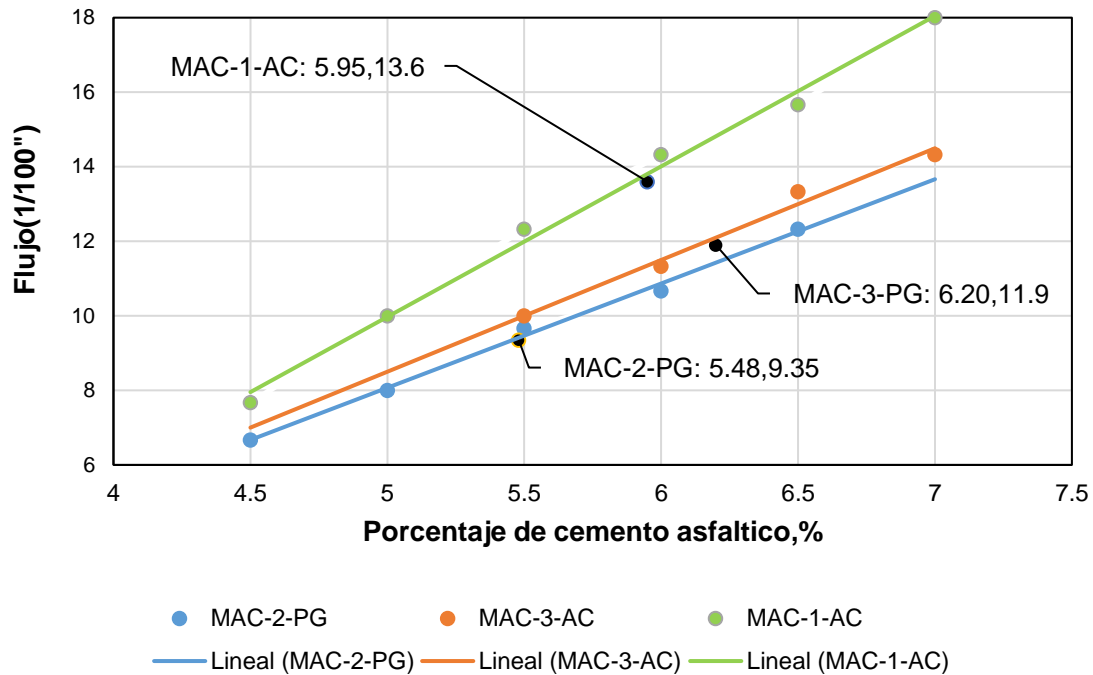


Fuente: Propia

- La estabilidad disminuye a medida que incrementa el porcentaje de asfalto.
- El diseño **MAC-2-PG** presenta la mayor estabilidad Marshall de 4900 lb, debido a que el asfalto es de menor penetración, (mayor viscosidad) lo que permite alcanzar una mayor estabilidad, para un mismo agregado con una misma forma, textura superficial y distribución de tamaños.
- El diseño **MAC-1-AC** presenta una estabilidad de 4340 lb y el diseño **MAC-3-AC** con la menor estabilidad de 3940 lb, debido a que el asfalto es de mayor penetración (menor viscosidad), por lo cual las estabilidades para las mezclas son menores.
- Se debe tener cuidado con mezclas con estabilidades bajas, ya que una vez colocadas en campo sufren ahuellamiento, escurrimiento y ondulaciones.

4.8.2. Flujo (Norma: 8-14 mm)

Grafica 20: Flujo de los 3 diseños de M.A.C.

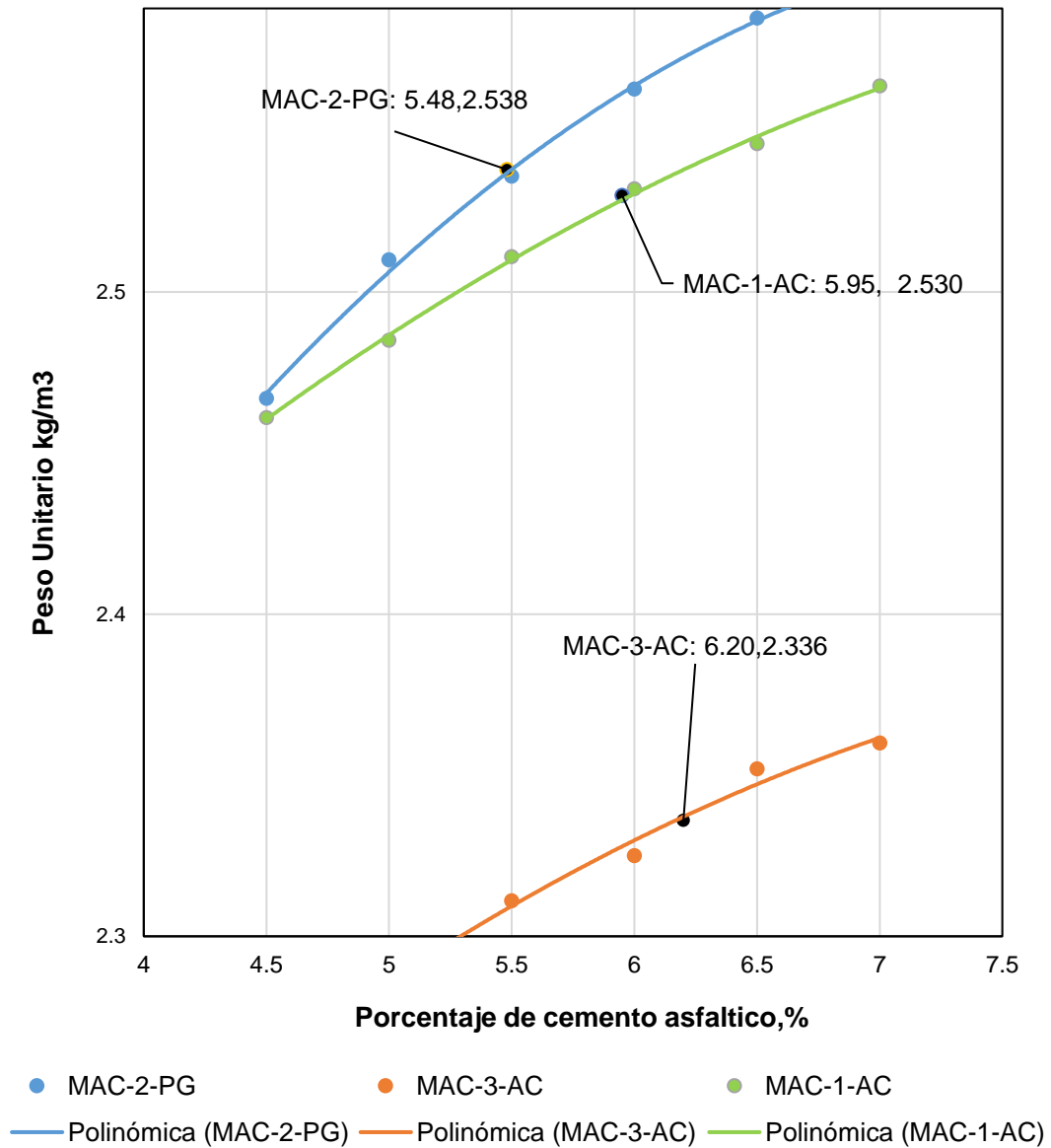


Fuente: Propia

- La variación del flujo se produce al incrementar el contenido de asfalto en primera instancia en forma suave y luego se hace más pronunciada. La mezcla al contener mayor contenido de asfalto es más flexible y deformable.
- El diseño **MAC-2-PG** presenta un flujo de 9.35 centésimas de pulgada siendo la mezcla menos flexible y menos deformable, con una mayor estabilidad, esto como resultado del uso de asfalto modificado que mejora en la mezcla el comportamiento a fatiga y la resistencia al envejecimiento. En cambio, el diseño **MAC-3-AC** y el diseño **MAC-1-AC** presentan los mayores flujos, siendo estas mezclas más flexibles y deformables (ondulaciones y ahuellamiento).

4.8.3. Peso Unitario

Grafica 21: Peso Unitario de los 3 diseños de M.A.C.

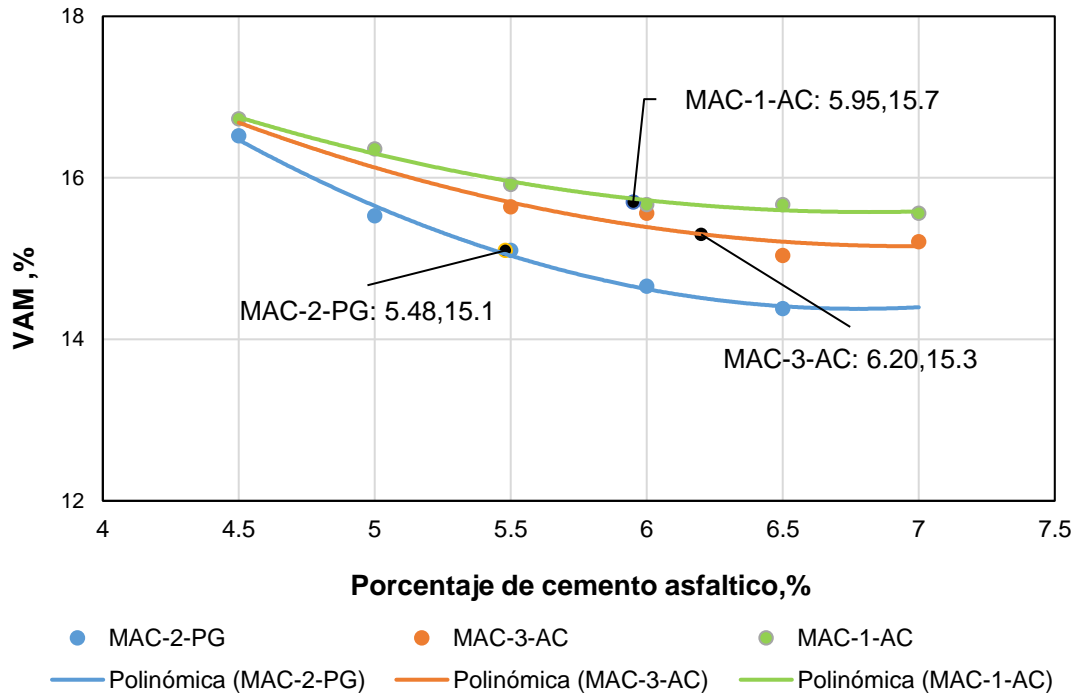


Fuente: Propia

- Para una misma energía de compactación (75 golpes), a medida que se incrementa el porcentaje de asfalto, las partículas de agregado son mejor lubricadas y consiguen un mejor acomodo, el peso unitario va aumentando.
- El diseño **MAC-2-PG** presenta un peso unitario de 2.538 kg/m³ y el diseño **MAC-1-AC** presenta un peso unitario de 2.530 kg/m³, similares en ambos diseños, por tener los mismos agregados y granulometría. El diseño **MAC-3-AC** presenta el peso unitario menor 2.336 kg/m³, debido que sus agregados son de graduación abierta, por ello se agregó arena de Xiloá para reducir los vacíos.
- El peso unitario o densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados, se debe tener especial cuidado, debido a que densidades bajas implican altos contenidos de vacíos provocando envejecimiento temprano del asfalto, seguido por el agrietamiento por fatiga.

4.8.4. Vacíos en el Agregado Mineral (Norma: mínimo 15%)

Grafica 22 : VAM de los 3 diseños de M.A.C.

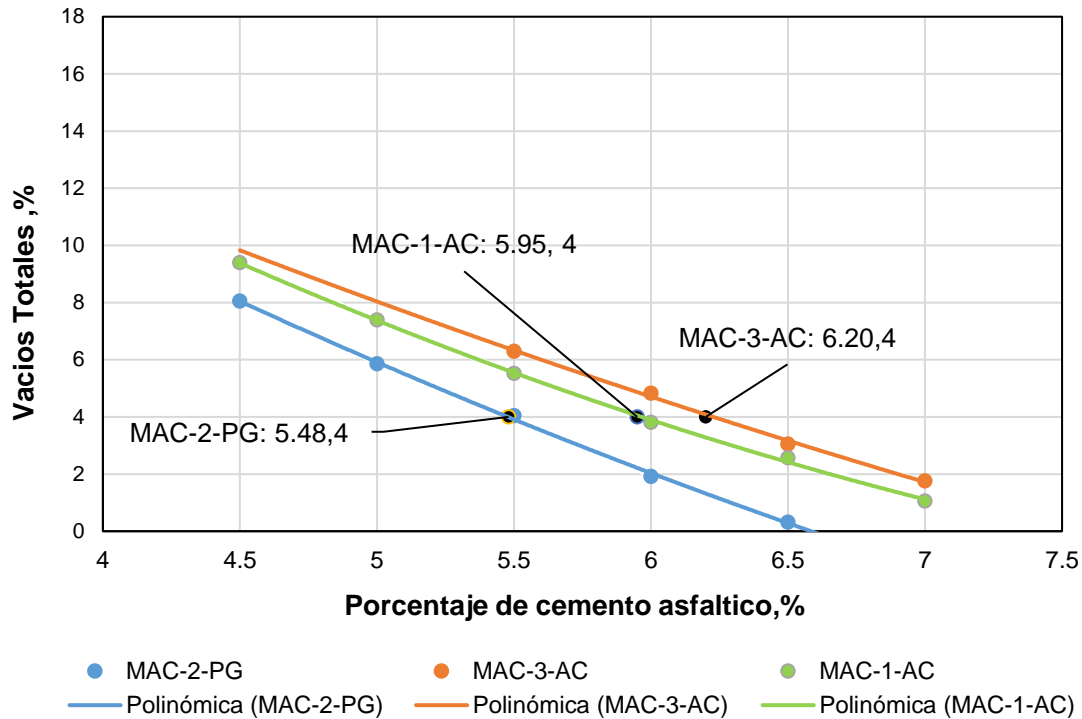


Fuente: Propia

- $VAM = Va + VFA$.
- Los tres diseños presentan un VAM por arriba del 15 %, muy cercanos al límite superior de las normas de diseño. Sin embargo, debe mencionarse que altos contenidos de vacíos están siempre asociados con una disminución en la durabilidad de la mezcla (endurecimiento prematuro del asfalto, agrietamiento y/o desintegración).
- Es importante señalar que se debe evitar los contenidos de asfalto del lado “húmedo” o derecho creciente de la curva VMA. Diseños con contenidos de asfalto que están en este rango tienen la tendencia de soltar y/o exhibir flujos plásticos al colocarlos en el terreno.

4.8.5. Vacíos Totales (Norma Va: 3%- 5%)

Grafica 23 : Vacíos Totales de los 3 diseños de M.A.C.

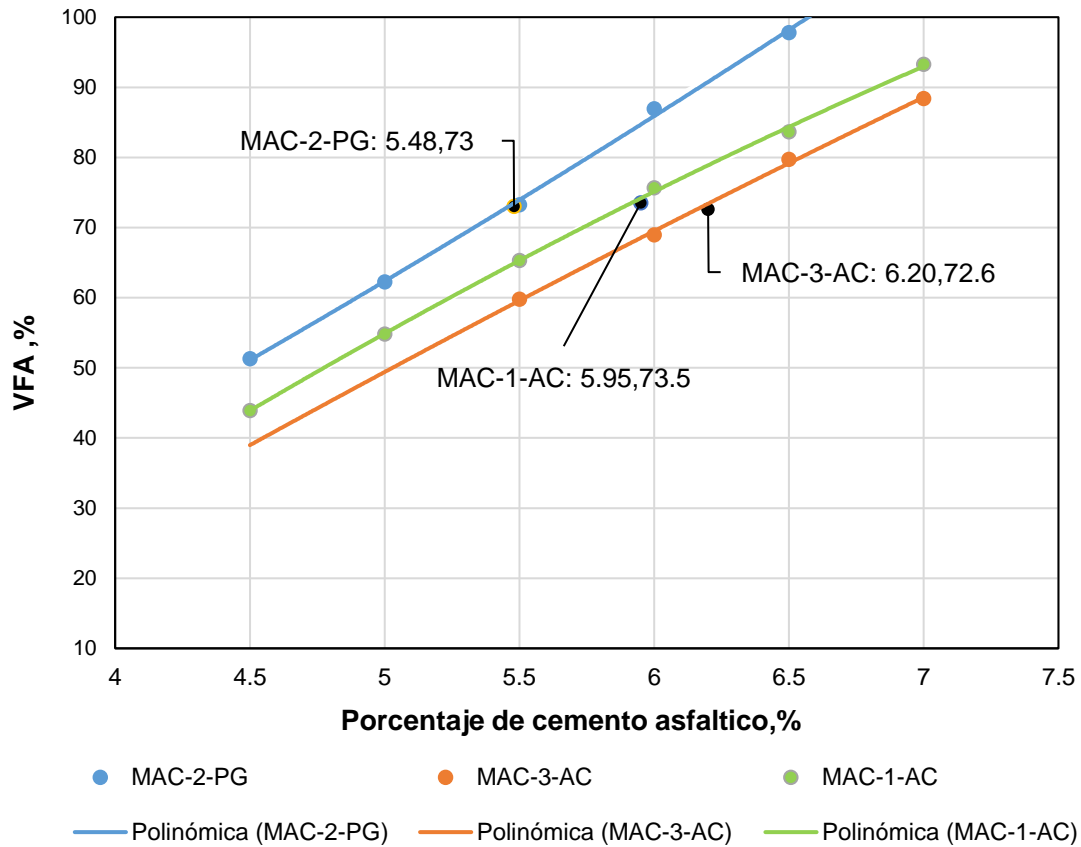


Fuente: Propia

- Cuando aumenta el contenido de asfalto, para una misma granulometría y esfuerzo de compactación, se van llenando los espacios que ocupa el aire entre los agregados, en consecuencia, su porcentaje respecto al volumen de la briqueta se va haciendo menor.
- Para los tres diseños se utilizó como parámetro de diseño Vacíos Totales del 4 %.
- Debe señalarse que, si el contenido final de vacíos de aire está por encima del 5%, pueden ocurrir problemas en el pavimento de agrietamiento prematuro, desgaste y desprendimiento. Por otro lado, un bajo contenido de vacíos menor al 3.5 % suele ser muy crítico en términos de deformación permanente.

4.8.6. Vacíos llenados de asfalto (Norma: 65%-75%)

Grafica 24 : VFA de los 3 diseños de M.A.C.



Fuente: Propia

- A medida que aumenta el contenido de asfalto, se aumenta la proporción de los VAM que son llenados con asfalto.
- Los tres diseños presentan un VFA por arriba del 72 %, muy cercanos al límite superior de las normas de diseño.

4.9. Contenido de asfalto a través de RAMCODES.

Para el uso de la Metodología RAMCODES se utilizó la hoja de cálculo de Excel programada para trazo del Polígono de Vacíos y Mapas de Resistencia para cada uno de los tres diseños elaborados con el Método Marshall. Se aclara que la hoja de Excel se mantuvo en inglés para mantener su fuente de origen.

4.10. Análisis del diseño de MAC-1-AC.

Imagen 3: Hoja programada en Excel para cálculo del Polígono de Vacíos de mezcla MAC-1-AC.

Welcome to the polygon of voids calculator

This spreadsheet calculates the polyvoids vertices and centroid coordinates from aggregate and asphalt specific gravities (G_{sb} , G_{se} and G_b) and voids specifications.

Polyvoids® is a trade mark of RAMCODES de Venezuela, C.A.

RAMCODES

DATA INPUT

Specific gravities

Asphalt specific gravity, G_b	1.037
Aggregate bulk specific gravity, G_{sb}	2.822
Aggregate effective specific gravity, G_{se}	2.927

Voids specifications

	min	max
Air voids, V_a (%)	3	5
Voids filled with asphalt, VFA (%)	65	75
Voids in mineral aggregate, VMA (%)	14	16

Press this button to calculate

Press here

Fuente: Elaborada por Freddy J. Sánchez-Leal, CE, Meng 2004-2009

4.10.1. Cálculo de Gse a partir de los datos obtenidos del diseño

Se tomó del diseño Marshall (Ver Anexo A-2-1, páginas 11 a la 16) , la gravedad específica bulk de los agregados **Gsb**, la gravedad específica efectiva de los agregados **Gse** (Ver ecuación y cálculo a continuación), calculada a partir del promedio de los porcentajes de asfalto **Pb** ensayados y del promedio de las gravedades específicas máxima teórica de la mezcla sin compactar **Gmm** para cada punto de asfalto resumido en la tabla 15, el peso específico del asfalto **Gb** obtenido del certificado de calidad ,así como también el empleo de las especificaciones de vacíos **Va,VMA,VFA** presentadas en la tabla 16.

$$Gse = \frac{(1 - Pb)}{\left(\frac{1}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}\right)} = \frac{1 - 0.0575}{\left(\frac{1}{2.649} - \frac{0.0575}{1.037}\right)} = 2.927 \text{ kg/m}^3$$

Tabla 15: Promedios de Pb, Gmm y Gse MAC-1-AC.

No.	Pb(%)	Gmm(kg/m3)	Gse(kg/m3)	Gravedades Especificas	
1	4.5	2.716	2.94	G.E.	Valor
2	5	2.683	2.928		
3	5.5	2.658	2.924		
4	6	2.633	2.92		
5	6.5	2.613	2.922	Gse	2.927
6	7	2.591	2.92	Gsb	2.822
Prom.	5.75	2.649	2.926	Gb	1.037
				γo	1.000

Fuente: Propia

Tabla 16 : Especificaciones de Vacíos, Método de Diseño Marshall MAC-1-AC.

Especificaciones de vacíos		
Curva	Parámetro	Valor
Curva A1	VMA(min)	0.14
Curva A2	VMA(max)	0.16
Curva B1	Va(min)	0.03
Curva B2	Va(max)	0.05
Curva C1	VFA(Smax)	0.75
Curva C2	VFA(Smin)	0.65

Fuente: Propia

4.10.2. Solución del sistema de ecuaciones

El polígono de vacíos se obtiene resolviendo los sistemas de ecuaciones para los 10 puntos, ver tabla 7, donde se intersectan las rectas de las especificaciones de vacíos, (V_{amin} , V_{amax} , VM_{amin} , VM_{amax} , VF_{amax} y VF_{amin}), en el plano cartesiano que tiene por abscisas los porcentajes de asfalto y por ordenada la gravedad específica. Las variables a encontrar son G y P a continuación;

Tabla 17: Sistema de Ecuaciones Polígono de Vacíos MAC-1-AC.

Nro. de intersección	Curva de intersección	
1	$(Va)_{\text{máx.}}$ $\frac{1 - 0.05}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.927}} = G$	$(VMA)_{\text{min}}$ $\frac{1 - 0.14}{1 - P} \cdot (2.822) = G$
2	$(Va)_{\text{min}}$ $\frac{1 - 0.03}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.927}} = G$	$(VMA)_{\text{min}}$ $\frac{1 - 0.14}{1 - P} \cdot (2.822) = G$
3	$(Va)_{\text{min}}$ $\frac{1 - 0.03}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.927}} = G$	$(VMA)_{\text{máx.}}$ $\frac{1 - 0.16}{1 - P} \cdot (2.822) = G$
4	$(Va)_{\text{máx.}}$ $\frac{1 - 0.05}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.927}} = G$	$(VMA)_{\text{máx.}}$ $\frac{1 - 0.16}{1 - P} \cdot (2.822) = G$
5	$(VFA)_{\text{min}}$ $\frac{0.65}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.927} - \frac{(1 - 0.65)(1 - P)}{2.822}} = G$	$(VMA)_{\text{min-}}$ $\frac{1 - 0.14}{1 - P} \cdot (2.822) = G$

Fuente: Propia

Nro. de intersección	Curva de intersección	
6	$\frac{0.75}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.927} - \frac{(1-0.75)(1-P)}{2.822}} = G$	$\frac{1-0.14}{1-P} \cdot (2.822) = G$
7	$\frac{0.75}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.927} - \frac{(1-0.75)(1-P)}{2.822}} = G$	$\frac{1-0.16}{1-P} \cdot (2.822) = G$
8	$\frac{0.65}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.927} - \frac{(1-0.65)(1-P)}{2.822}} = G$	$\frac{1-0.16}{1-P} \cdot (2.822) = G$
9	$\frac{0.75}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.927} - \frac{(1-0.75)(1-P)}{2.822}} = G$	$\frac{1-0.03}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.927}} = G$
10	$\frac{0.65}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.927} - \frac{(1-0.65)(1-P)}{2.822}} = G$	$\frac{1-0.05}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.927}} = G$

Fuente: Propia

4.10.3. Resultados obtenidos

Tabla 18: Resultados de las incógnitas Pb y Gmb MAC-1-AC.

Punto	Pb	Gmb(kg/m3)
1	0.049	2.552
2	0.057	2.573
3	0.066	2.537
4	0.058	2.516
5	0.049	2.553
6	0.055	2.567
7	0.061	2.528
8	0.056	2.508
9	0.048	2.609
10	0.050	2.547

Fuente: Propia

Tabla 19: Caso III Polígono de Vacíos MAC-1-AC. (Ver tabla 8, pág. 80)

Preguntas de verificación de Gmb		Caso Polígono
Gm5 > Gm 1	1	III (puntos 5,6,7,4,10)
Gm2 > Gm6	1	
Gm7 > Gm3	0	
Gm8 > Gm4	0	

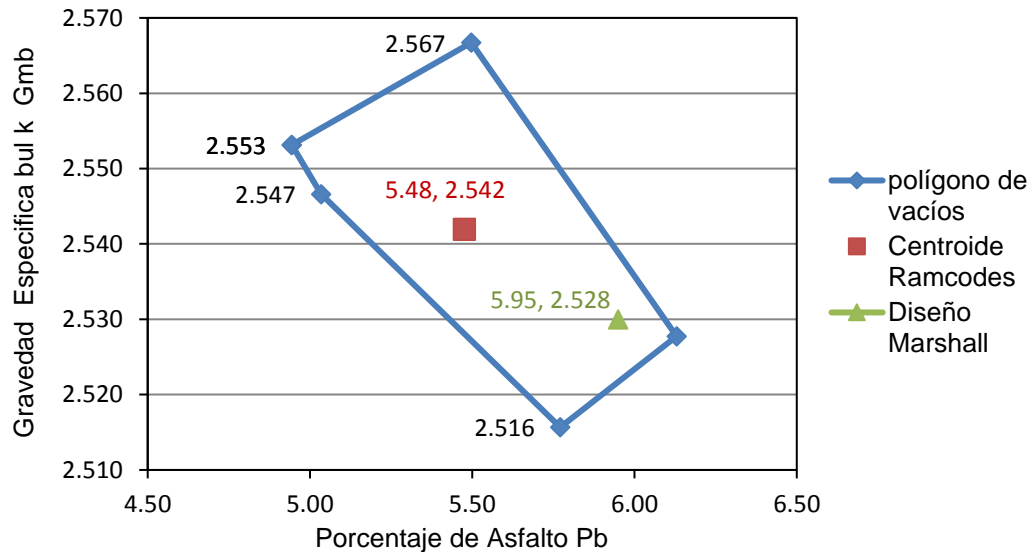
Fuente: Propia

Tabla 20 : Puntos del Polígono de Vacíos y Centroide MAC-1-AC.

Punto	Pb(%)	Gmb(kg/m3)
5	4.94	2.553
6	5.50	2.567
7	6.13	2.528
4	5.77	2.516
10	5.03	2.547
5	4.94	2.553
Centroide		
n	5.000	
Pb(prom.)	5.48%	
Gmb(prom.)	2.542	

Fuente: Propia

Grafica 25 : Polígono de Vacíos MAC-1-AC.



Fuente: Propia

4.10.4. Porcentaje de asfalto diseño MAC-1-AC.

Dentro del polígono de vacíos, *el porcentaje de asfalto obtenido es de 5.48%*, muy próximo al obtenido por el diseño Marshall de 5.95%, el cual resultado estar dentro del polígono de vacíos. Ambos cumplen con todas las especificaciones de vacíos y con las normas (Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1, Cuadro 405-2).

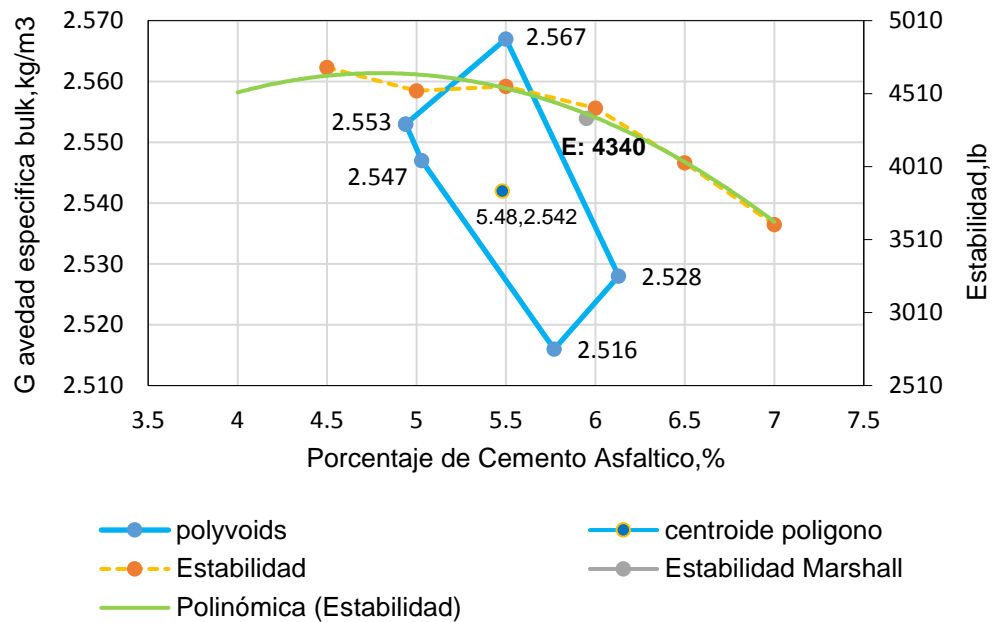
4.10.5. Calculo de los VAM y los VFA a partir de Pb y Gmb obtenidos.

$$VAM = 100 - \frac{Gmb(100 - Pb)}{Gsb} = 100 - \frac{2.542(100 - 5.48)}{2.822} = 14.9\%$$

$$VFA = 100 \times \left(\frac{VAM - Va}{VAM} \right) = 100 \times \left(\frac{14.9 - 4}{14.9} \right) = 73.1\%$$

4.10.6. Superposición del polígono de vacíos en el mapa de estabilidad.

Grafica 26 : Polígono de Vacíos y Mapa de Estabilidad Marshall MAC-1-AC.

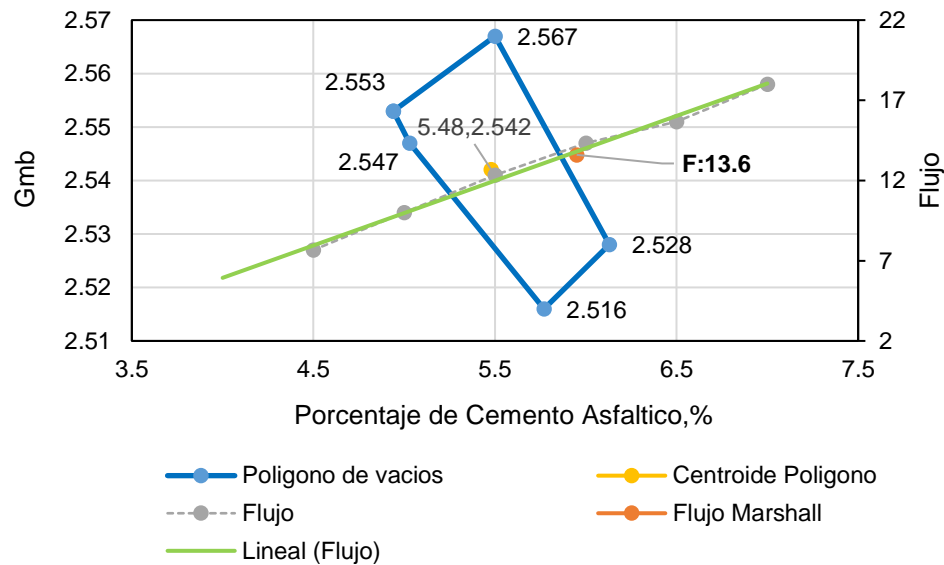


Fuente: Propia

Dentro del polígono de vacíos, la estabilidad para una energía de compactación (75 golpes) varía entre 4528 lb y 4559.9 lb, la obtenida en el diseño Marshall es de 4340 lb, todas cumplen con todas las especificaciones de vacíos y con las normas (Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1, Cuadro 405-2).

4.10.7. Superposición del polígono de vacíos en el mapa de Flujo.

Grafica 27 : Polígono de Vacíos y Mapa Flujo Marshall MAC-1-AC.



Fuente: Propia

Dentro del polígono de vacíos, el flujo para una energía de compactación (75 golpes) varía entre 10,12.33 y 13 centésimos de pulgada, la obtenida en el diseño Marshall es de 13.6 centésimos de pulgada, todos cumplen con todas las especificaciones de vacíos y con las normas (Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1, Cuadro 405-2).

4.11. Análisis del diseño de MAC-2-PG

Imagen 4: Hoja programada en Excel para cálculo del Polígono de Vacíos de mezcla MAC-2-PG.

Welcome to the polygon of voids calculator

This spreadsheet calculates the polyvoids vertices and centroid coordinates from aggregate and asphalt specific gravities (G_{sb} , G_{se} and G_b) and voids specifications.

Polyvoids® is a trade mark of RAMCODES de Venezuela, C.A.

RAMCODES

DATA INPUT

Specific gravities

Asphalt specific gravity, G_b	1.037
Aggregate bulk specific gravity, G_{sb}	2.822
Aggregate effective specific gravity, G_{se}	2.901

Voids specifications

	min	max
Air voids, V_a (%)	3	5
Voids filled with asphalt, VFA (%)	65	75
Voids in mineral aggregate, VMA (%)	14	16

Press this button to calculate

Press here

Imagen 4: Elaborada por Freddy J. Sánchez-Leal, CE, Meng 2004-2009

4.11.1. Cálculo de Gse a partir de los datos obtenidos del diseño.

Ver Anexo A-2-2, páginas 10 a la 17.

Tabla 21 : Promedios de Pb, Gmm y Gse MAC-2-PG

No.	Pb(%)	Gmm(kg/m ³)	Gse(kg/m ³)	Gravedades Específicas	
1	4.5	2.683	2.910	G.E.	Valor
2	5	2.666	2.918		
3	5.5	2.643	2.917		
4	6	2.613	2.908		
5	6.5	2.594	2.911		
Prom.	5.5	2.460	2.913	γ_o	1.000

Fuente: Propia

4.11.2. Solución del sistema de ecuaciones.

Tabla 22: Sistema de Ecuaciones para el Polígono de Vacíos MAC-2-PG

Nro. de intersección	Curva de intersección	
1	$(Va)_{\text{máx.}}$ $\frac{1 - 0.05}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.901}} = G$	$(VMA)_{\text{min}}$ $\frac{1 - 0.14}{1 - P} \cdot (2.822) = G$
2	$(Va)_{\text{min}}$ $\frac{1 - 0.03}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.901}} = G$	$(VMA)_{\text{min}}$ $\frac{1 - 0.14}{1 - P} \cdot (2.822) = G$
3	$(Va)_{\text{min}}$ $\frac{1 - 0.03}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.901}} = G$	$(VMA)_{\text{máx.}}$ $\frac{1 - 0.16}{1 - P} \cdot (2.822) = G$
4	$(Va)_{\text{máx.}}$ $\frac{1 - 0.05}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.901}} = G$	$(VMA)_{\text{máx.}}$ $\frac{1 - 0.16}{1 - P} \cdot (2.822) = G$
5	$(VFA)_{\text{min}}$ $\frac{0.65}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.901} - \frac{(1 - 0.65)(1 - P)}{2.822}} = G$	$(VMA)_{\text{min-}}$ $\frac{1 - 0.14}{1 - P} \cdot (2.822) = G$

Fuente: Propia

Nro. de intersección	Curva de intersección	
6	$\frac{(VFA)_{\text{máx.}}}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.901} - \frac{(1-0.75)(1-P)}{2.822}} = G$	$\frac{(VMA)_{\text{mín.}}}{1-P} \cdot (2.822) = G$
7	$\frac{(VFA)_{\text{máx.}}}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.901} - \frac{(1-0.75)(1-P)}{2.822}} = G$	$\frac{(VMA)_{\text{máx.}}}{1-P} \cdot (2.822) = G$
8	$\frac{(VFA)_{\text{mín.}}}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.901} - \frac{(1-0.65)(1-P)}{2.822}} = G$	$\frac{(VMA)_{\text{máx.}}}{1-P} \cdot (2.822) = G$
9	$\frac{(VFA)_{\text{máx.}}}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.901} - \frac{(1-0.75)(1-P)}{2.822}} = G$	$\frac{(Va)_{\text{mín.}}}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.901}} = G$
10	$\frac{(VFA)_{\text{mín.}}}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.901} - \frac{(1-0.65)(1-P)}{2.822}} = G$	$\frac{(Va)_{\text{máx.}}}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.901}} = G$

Fuente: Propia

4.11.3. Resultados obtenidos

Tabla 23: Resultados de las incógnitas Pb y Gmb MAC-2-PG

Punto	Pb	Gmb(kg/m3)
1	0.046	2.545
2	0.054	2.565
3	0.063	2.529
4	0.055	2.508
5	0.047	2.546
6	0.052	2.560
7	0.059	2.519
8	0.053	2.502
9	0.045	2.602
10	0.047	2.539

Fuente: Propia

Tabla 24: Caso III Polígono de Vacíos MAC-2-PG (Ver tabla 8, pág.80)

Preguntas de verificación de Gmb		Caso Polígono
Gm5 > Gm 1	1	III (puntos 5,6,7,4,10)
Gm2 > Gm6	1	
Gm7 > Gm3	0	
Gm8 > Gm4	0	

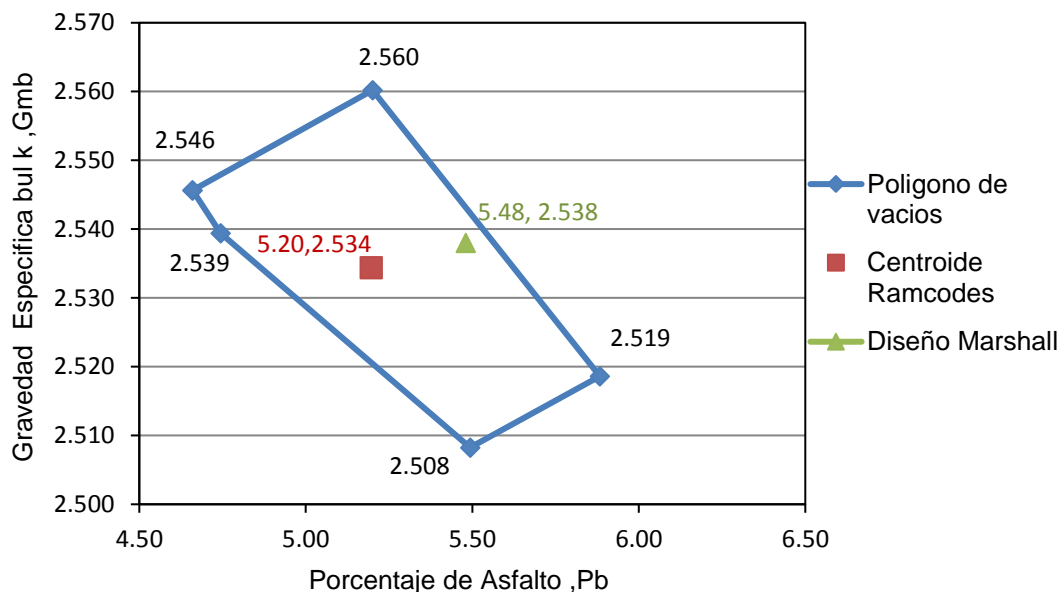
Fuente: Propia

Tabla 25: Puntos del Polígono de Vacíos y Centroide MAC-2-PG

Punto	Pb(%)	Gmb(kg/m3)
5	4.66	2.546
6	5.2	2.56
7	5.88	2.519
4	5.49	2.508
10	4.74	2.539
5	4.66	2.546
Centroide		
n	5	
Pb(prom.)	5.20%	
Gmb(prom.)	2.534	

Fuente: Propia

Grafica 28 : Polígono de Vacíos MAC-2-PG.



Fuente: Propia

4.11.4. Porcentaje de asfalto diseño MAC-2-PG.

Dentro del polígono de vacíos, *el porcentaje de asfalto obtenido es de 5.20%*, muy próximo al obtenido por el diseño Marshall de 5.48%, el cual resulta estar dentro del polígono de vacíos. Ambos cumplen con todas las especificaciones de vacíos y con las normas (Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1, Cuadro 405-2).

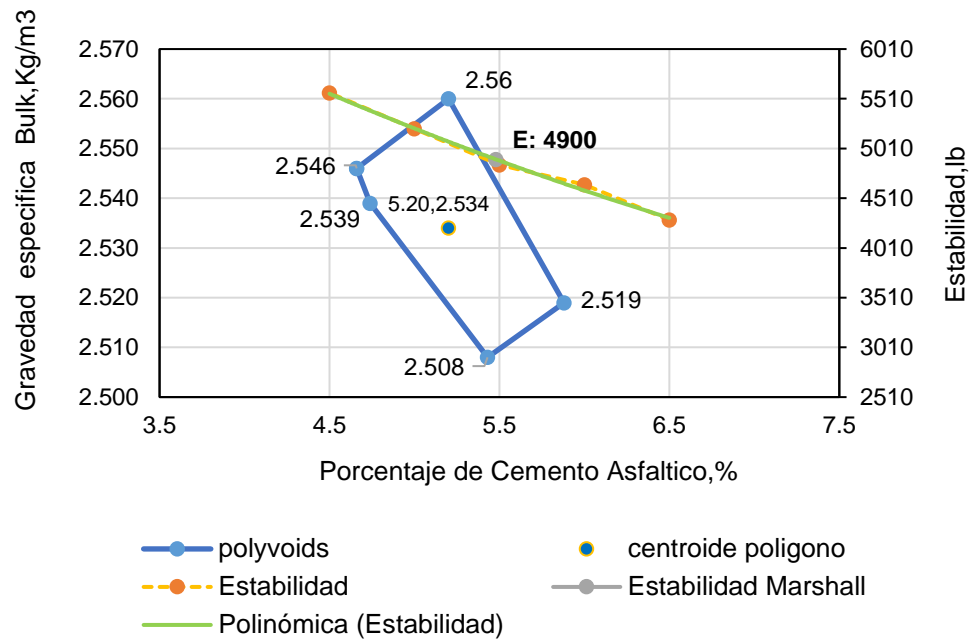
4.11.5. Cálculo de los VAM y los VFA a partir de Pb y Gmb obtenidos.

$$VAM = 100 - \frac{Gmb(100 - Pb)}{Gsb} = 100 - \frac{2.534(100 - 5.20)}{2.822} = 14.9\%$$

$$VFA = 100 \times \left(\frac{VAM - Va}{VAM} \right) = 100 \times \left(\frac{14.9 - 4}{14.9} \right) = 73.1\%$$

4.11.6. Superposición del polígono de vacíos en el mapa de estabilidad.

Grafica 29: Polígono de Vacíos y Mapa Estabilidad Marshall MAC-2-PG

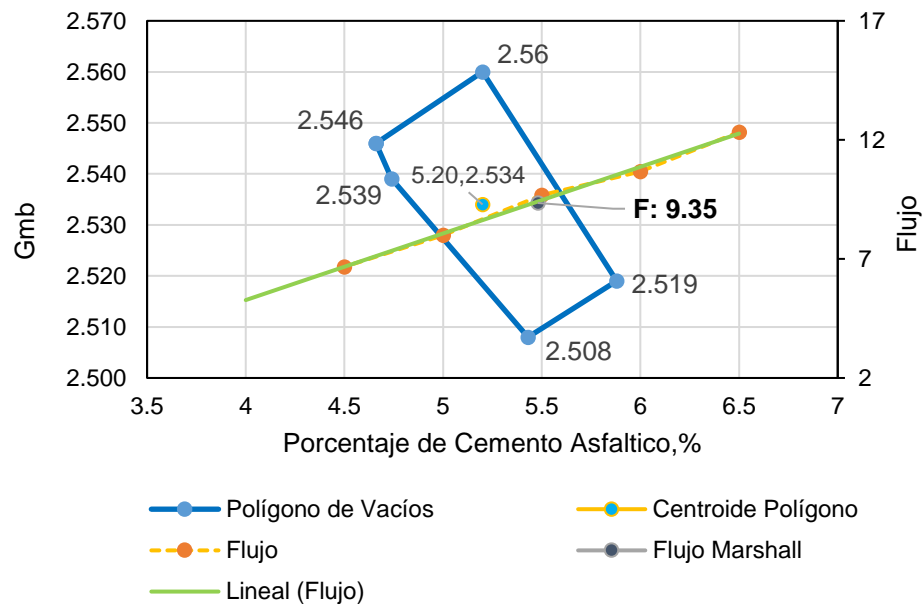


Fuente: Propia

Dentro del polígono de vacíos, la estabilidad para una energía de compactación (75 golpes) varía desde 5010 lb hasta 5209.94 lb, la obtenida en el diseño Marshall es de 4900 lb, todas cumplen con las especificaciones de vacíos y con las normas (Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1, Cuadro 405-2).

4.11.7. Superposición del polígono de vacíos en el mapa de Flujo.

Grafica 30 : Polígono de Vacíos y Mapa Flujo Marshall MAC-2-PG



Fuente: Propia

Dentro del polígono de vacíos, el flujo para una energía de compactación (75 golpes) varía entre 8,9.35 y 9.67 centésimos de pulgada, la obtenida en el diseño Marshall es de 9.35 centésimos de pulgada dentro del polígono, todos cumplen con las especificaciones de vacíos y con las normas (Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1, Cuadro 405-2).

4.12. Análisis del diseño de MAC-3-AC.

Imagen 5: Hoja programada en Excel para cálculo del Polígono de Vacíos de mezcla MAC-3-AC.

Welcome to the polygon of voids calculator

This spreadsheet calculates the polyvoids vertices and centroid coordinates from aggregate and asphalt specific gravities (G_{sb} , G_{se} and G_b) and voids specifications.

Polyvoids® is a trade mark of RAMCODES de Venezuela, C.A.

RAMCODES

DATA INPUT

Specific gravities

Asphalt specific gravity, G_b	1.037
Aggregate bulk specific gravity, G_{sb}	2.588
Aggregate effective specific gravity, G_{se}	2.676

Voids specifications

	min	max
Air voids, V_a (%)	3	5
Voids filled with asphalt, VFA (%)	65	75
Voids in mineral aggregate, VMA (%)	14	16

Press this button to calculate

Press here

Fuente: Elaborada por Freddy J. Sánchez-Leal, CE, Meng 2004-2009

4.12.1. Cálculo de Gse a partir de los datos obtenidos del diseño

Ver Anexo A-2-3, páginas 11 a la 14.

Tabla 26: Promedios de Pb, Gmm y Gse MAC-3-AC.

No.	Pb(%)	Gmm(kg/m3)	Gse(kg/m3)	Gravedades Especificas	
1	5.5	2.466	2.681	G.E.	Valor
2	6	2.443	2.674	Gse	2.676
3	6.5	2.426	2.675	Gsb	2.588
4	7	2.402	2.666	Gb	1.037
Prom.	6.25	2.434	2.674	γ_o	1.000

Fuente: Propia

4.12.2. Solución del sistema de ecuaciones.

Tabla 27: Sistema de Ecuaciones para el Polígono de Vacíos MAC-3-AC.

Nro. de intersección	Curva de intersección	
1	$(Va)_{\text{máx.}}$ $\frac{1 - 0.05}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.676}} = G$	$(VMA)_{\text{min}}$ $\frac{1 - 0.14}{1 - P} \cdot (2.588) = G$
2	$(Va)_{\text{min}}$ $\frac{1 - 0.03}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.676}} =$	$(VMA)_{\text{min}}$ $\frac{1 - 0.14}{1 - P} \cdot (2.588) = G$
3	$(Va)_{\text{min}}$ $\frac{1 - 0.03}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.676}} = G$	$(VMA)_{\text{máx.}}$ $\frac{1 - 0.16}{1 - P} \cdot (2.588) = G$
4	$(Va)_{\text{máx.}}$ $\frac{1 - 0.05}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.676}} = G$	$(VMA)_{\text{máx.}}$ $\frac{1 - 0.16}{1 - P} \cdot (2.588) = G$
5	$(VFA)_{\text{min}}$ $\frac{0.65}{\frac{P}{1.037} + \frac{1 - P}{2.676}} - \frac{(1 - 0.65)(1 - P)}{2.588} = G$	$(VMA)_{\text{min-}}$ $\frac{1 - 0.14}{1 - P} \cdot (2.588) = G$

Fuente: Propia

Nro. de intersección	Curva de intersección	
6	$\frac{(VFA)_{\text{máx.}}}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.676} - \frac{(1-0.75)(1-P)}{2.588}} = G$	$\frac{(VMA)_{\text{min.}}}{\frac{1-0.14}{1-P} \cdot (2.588)} = G$
7	$\frac{(VFA)_{\text{máx.}}}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.676} - \frac{(1-0.75)(1-P)}{2.588}} = G$	$\frac{(VMA)_{\text{máx.}}}{\frac{1-0.16}{1-P} \cdot (2.588)} = G$
8	$\frac{(VFA)_{\text{min}}}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.676} - \frac{(1-0.65)(1-P)}{2.588}} = G$	$\frac{(VMA)_{\text{máx.}}}{\frac{1-0.16}{1-P} \cdot (2.588)} = G$
9	$\frac{(VFA)_{\text{máx.}}}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.676} - \frac{(1-0.75)(1-P)}{2.588}} = G$	$\frac{(Va)_{\text{min}}}{\frac{1-0.03}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.676}}} = G$
10	$\frac{(VFA)_{\text{min}}}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.676} - \frac{(1-0.65)(1-P)}{2.588}} = G$	$\frac{(Va)_{\text{máx.}}}{\frac{1-0.05}{\frac{P}{1.037} + \frac{1-P}{2.676}}} = G$

Fuente: Propia

4.12.3. Resultados obtenidos.

Tabla 28 : Resultados de las incógnitas Pb y Gmb MAC-3-AC.

Punto	Pb	Gmb(kg/m3)
1	0.052	2.348
2	0.061	2.369
3	0.07	2.337
4	0.062	2.317
5	0.053	2.35
6	0.058	2.364
7	0.066	2.327
8	0.059	2.31
9	0.051	2.401
10	0.054	2.344

Fuente: Propia

Tabla 29 : Caso III Polígono de Vacíos MAC-3-AC. (Ver tabla 8, pág.80)

Preguntas de verificación de Gmb		Caso Polígono
Gm5 >Gm 1	1	III (puntos 5,6,7,4,10)
Gm2 >Gm6	1	
Gm7 >Gm3	0	
Gm8 >Gm4	0	

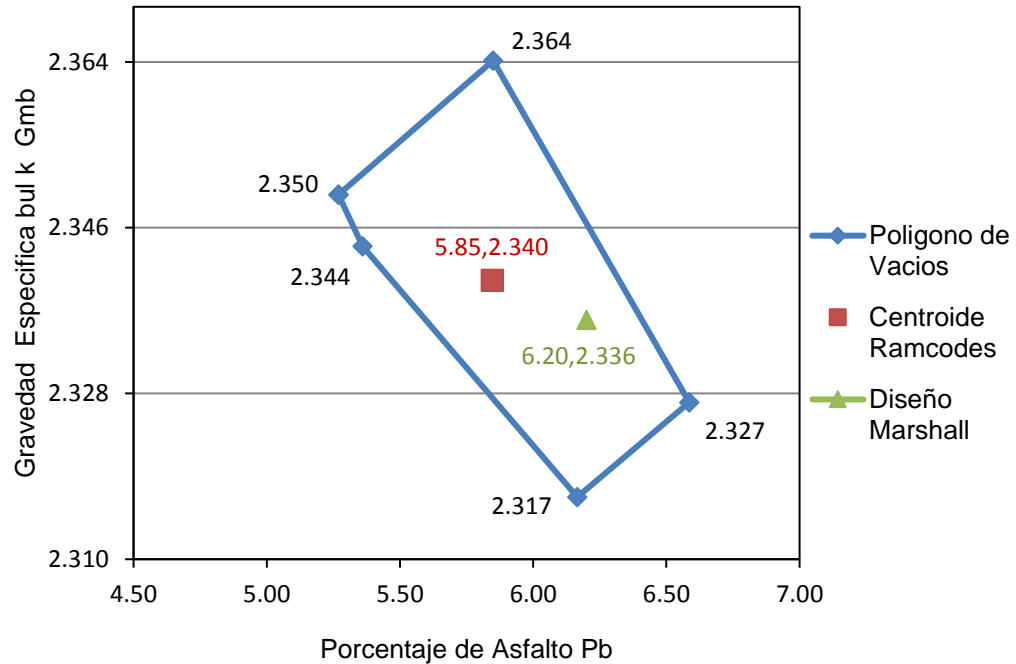
Fuente: Propia

Tabla 30 : Puntos del Polígono de Vacíos y Centroide MAC-3-AC.

Punto	Pb(%)	Gmb(kg/m3)
5	5.27	2.35
6	5.85	2.364
7	6.59	2.327
4	6.17	2.317
10	5.36	2.344
5	5.27	2.35
Centroide		
n	5	
Pb (prom.)	5.85%	
Gmb(prom.)	2.34	

Fuente: Propia

Grafica 31: Polígono de Vacíos MAC-3-AC.



Fuente: Propia

4.12.4. Porcentaje de asfalto diseño MAC-3-AC.

Dentro del polígono de vacíos, *el porcentaje de asfalto obtenido es de 5.85%*, muy cercano al obtenido por el diseño Marshall de 6.20%, el cual resultado estar dentro del polígono de vacíos. Ambos cumplen con todas las especificaciones de vacíos y con las normas (Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1, Cuadro 405-2).

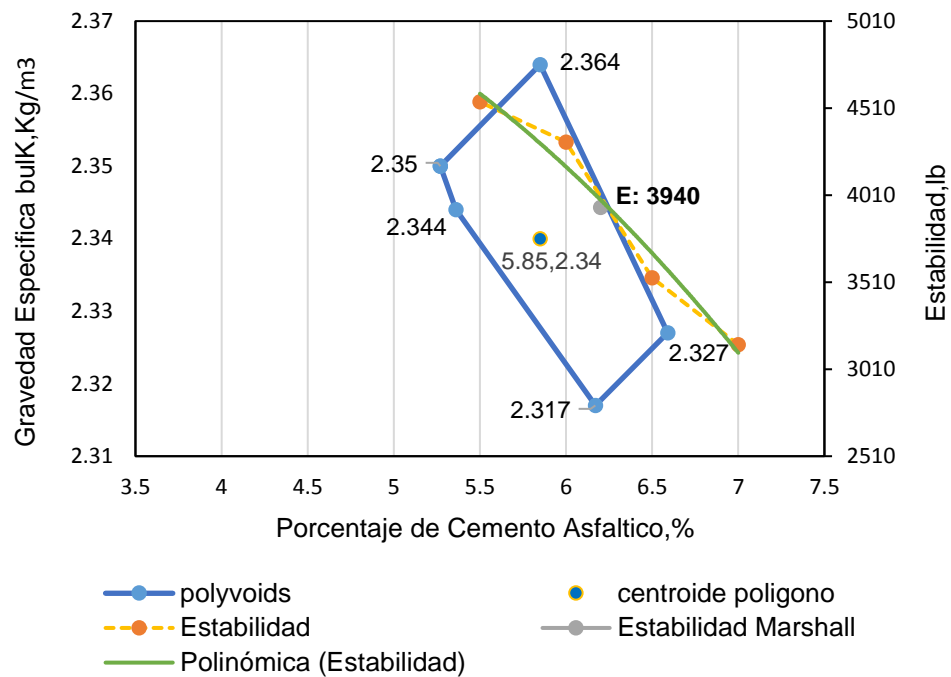
4.12.5. Calculo de los VAM y los VFA a partir de Pb y Gmb obtenidos

$$VAM = 100 - \frac{Gmb(100 - Pb)}{Gsb} = 100 - \frac{2.340(100 - 5.85)}{2.588} = 14.9\%$$

$$VFA = 100 \times \left(\frac{VAM - Va}{VAM} \right) = 100 \times \left(\frac{14.9 - 4}{14.9} \right) = 73.1\%$$

4.12.6. Superposición del polígono de vacíos en el mapa de estabilidad.

Grafica 32 : Polígono de Vacíos y Mapa Estabilidad MAC-3-AC.

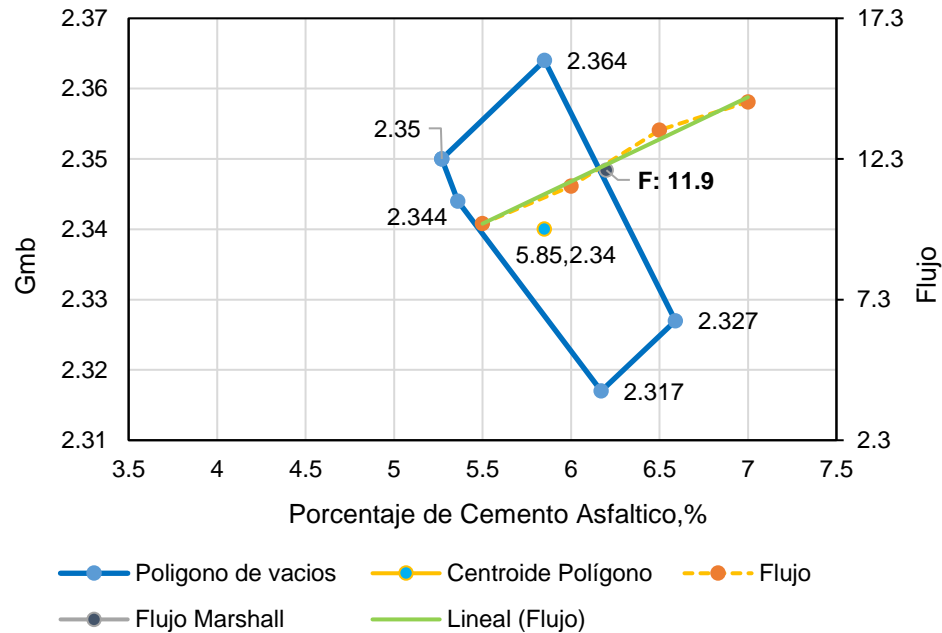


Fuente: Propia

Dentro del polígono de vacíos, la estabilidad para una energía de compactación (75 golpes) varía desde 3940 lb, 4314.48 lb y 4445 lb, la obtenida en el diseño Marshall es de 3940 lb, todas cumplen con las especificaciones de vacíos y con las normas (Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1, Cuadro 405-2).

4.12.7. Superposición del polígono de vacíos en el mapa de flujo.

Grafica 33: Polígono de Vacíos y Mapa Flujo MAC-3-AC.



Fuente: Propia

Dentro del polígono de vacíos, el flujo para una energía de compactación (75 golpes) varía entre 10,11.33 y 11.9 centésimos de pulgada, la obtenida en el diseño Marshall es de 11.9 centésimos de pulgada, todos cumplen con las especificaciones de vacíos y con las normas (Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1, Cuadro 405-2).

4.13. Resumen de las propiedades de los diseños de M.A.C. por el Método Marshall y Metodología RAMCODES

Tabla 31: Propiedades de los diseños de M.A.C., Marshall vs Ramcodes

PARAMETROS	U.M.	CRITERIOS DE DISEÑO	
ASFALTO OPTIMO	%	-	
DENSIDAD	kg/m3	-	
VA	%	4 - 5	
VMA	%	15 % MIN	
VFA	%	65 - 75	
PARAMETROS	VALORES MARSHALL		
	MAC-1-AC	MAC-2-PG	MAC-3-AC
ASFALTO OPTIMO	5.95	5.48	6.2
DENSIDAD	2.530	2.538	2.336
VA	4	4	4
VMA	15.7	15.1	15.3
VFA	73.5	73	72.6
PARAMETROS	VALORES RAMCODES		
	MAC-1-AC	MAC-2-PG	MAC-3-AC
ASFALTO OPTIMO	5.48	5.2	5.85
DENSIDAD	2.542	2.534	2.340
VA	4	4	4
VMA	14.9	14.9	14.9
VFA	73.1	73.1	73.1

Fuente: Propia

4.14. Comparativo de costos de diseño de M.A.C. por el Método Marshall vs Diseño Metodología Ramcodes.

Tabla 32 : Comparación de costos de diseño de M.A.C. por el método Marshall vs Metodología Ramcodes

METODO MARSHALL (5 PORCENTAJES DE ASFALTO)					MARSHALL ACELERADO METODOLOGIA RAMCODES (3 PORCENTAJES DE ASFALTO)		
ACTIVIDADES PARA DISEÑO CONVENCIONAL DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE		Cantidad	Costo Unitario	Totales U\$	Cantidad	Costo Unitario	Totales U\$
Determinación de Adherencia del petreo con asfalto	prueba	1.00	66.00	66.00	1.00	66.00	66.00
Granulometria de los agregados y material cero	prueba	2.00	8.00	16.00	2.00	8.00	16.00
Gravedad Especifica	prueba	3.00	20.00	60.00	3.00	20.00	60.00
Desgaste según máquina de los ángeles	prueba	1.00	40.00	40.00	1.00	40.00	40.00
Intemperismo	prueba	1.00	60.00	60.00	1.00	60.00	60.00
Egyuivalente de arena	prueba	1.00	30.00	30.00	1.00	30.00	30.00
Indice de durabilidad	prueba	2.00	35.00	70.00	2.00	35.00	70.00
Determinación de peso volumétrico del petreo (suelto y vibrado)	prueba	1.00	11.00	11.00	1.00	11.00	11.00
Contenido de asfalto y composición granulométrica de mezcla	muestra	5.00	70	350.00	3.00	70.00	210.00
Gravedad Máxima Teórica	muestra	15.00	25	375.00	3.00	25.00	75.00
Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	muestra	15.00	20	300.00	-	20.00	-
Elaboración de briquetas marshall (Estabilidad y Flujo)	muestra	15.00	25.00	375.00	3.00	25.00	75.00
Costo del Diseño (dólares)	Tiempo: 2 semanas			1,753.00	Tiempo : 1 semana		713.00

Fuente: Propia

CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los porcentajes óptimos de asfalto que se obtuvieron para los diseños por el Método Marshall se calcularon y revisaron utilizando el Polígono de Vacíos por RAMCODES, comprobando que todos se encuentran dentro de la región donde se cumplen todas las Especificaciones de Vacíos y satisfacen la especificación que regula la calidad de la mezcla (Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1 y Cuadro 405-2).
- Es evidente, sin embargo, que existe una diferencia importante entre los porcentajes óptimos de asfalto según Ramcodes y el decidido a ser empleado en obra por el Método Marshall. Por ello es importante señalar que esta Metodología nos brinda un área dentro de la región del Polígono de Vacíos donde existe un rango de porcentajes de asfalto que se podrían utilizar para el diseño de mezclas, la selección del porcentaje óptimo dependerá de los criterios, experiencia y conveniencia del ingeniero de proyectos.
- La superposición del polígono de vacíos sobre las gráficas o mapas de resistencia de estabilidad y flujo obtenidos para los tres diseños de M.A.C., permiten analizar la variación de estas propiedades mecánicas dentro de la región donde se cumplen todas las especificaciones de vacíos, facilitando un mejor análisis del posible comportamiento mecánico y desempeño que podría tener la mezcla asfáltica una vez puesta en funcionamiento.
- La Metodología RAMCODES permite acelerar el Método Marshall, obteniendo el porcentaje de asfalto con solo 3 briquetas, esto se traduce a reducir el tiempo de diseño a una semana y los costos hasta un margen de 1040 dólares (40.67 %).

- Los agregados que presentaron una mejor graduación fueron los del banco el Portillo, Proinco. Permitiendo obtener una mezcla asfáltica densa con contenidos de vacíos controlados y alta estabilidad. En cambio, los agregados del banco Millones, Meco, presentaron una graduación abierta con altos contenidos de vacíos, razón por la cual se utilizó arena de Xiloá.
- El asfalto modificado PG 76-22 PUMA, a diferencia del convencional AC-30 UNO, utilizado en la mezcla MAC-2-PG, mejoro notablemente sus propiedades mecánicas, lo que permitirá que está al ser colocada en campo tenga un mejor comportamiento a fatiga, ahuellamiento y aumento de su resistencia al envejecimiento.

5.2 Recomendaciones

- Implementar el uso de la Metodología Ramcodes permitirá a los laboratorios nacionales acortar el tiempo de respuesta en el diseño y revisión de mezclas asfálticas en caliente. Esto beneficiara tanto a proyectistas, como a investigadores, quienes podrán evaluar entre cuatro a cinco combinaciones diferentes de agregados con los mismos recursos y tiempo que se emplean al aplicar el método Marshall en su forma convencional.
- La metodología de Ramcodes se presenta como una herramienta fundamental para los ingenieros de pavimentos que buscan renovar y mejorar el conocimiento en el diseño, desempeño y durabilidad de mezclas asfálticas en caliente, lo que beneficiara en gran manera la economía de las alcaldías y municipalidades a nivel nacional.

BIBLIOGRAFIA

- Corredor Gustavo, Apuntes de Pavimentos Volumen 2, Caracas Venezuela 2005.
- Cáceres Morales Carlos Alejandro, Estado del Arte “Diseño de Mezclas Asfálticas”, México, 2007.
- Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes, Republica de Nicaragua, Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- Garnica Anguas Paul., Delgado Alamilla Horacio., Gómez López José Antonio, Romero Sergio Alonso y Alarcon Orta Humberto, Aspectos del Diseño Volumétrico de Mezclas Asfálticas, Publicación Técnica No. 246 Sanfandila, Qro,2004.
- Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Guatemala, 2002.
- Padilla Rodríguez Alejandro, Mezclas Asfálticas, Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2003.
- Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente,Serie de Manuales No.22(MS-22),Asphalt Institute.
- Roy Moncada, Cifra histórica en la red vial de Nicaragua (Managua ,22 mayo del 2016), La Prensa.
- Sánchez-Leal Freddy, Garnica Anguas Paul, Gómez López José Antonio y Pérez García Natalia, RAMCODES: Metodología Racional para el análisis de densificación y resistencia de geomateriales compactados, Publicación Técnica No. 200, Sanfandila, Qro, 2002.

ANEXOS

ANEXO A - 1: Trabajo de Laboratorio: Ensayo Marshall

**ANEXO A -1- 1 : Fotografía 1 – a. Calentamiento previo de agregados,
b. Verificación de temperatura de agregados 105°C –110°C**



ANEXO A -1- 2 : Fotografía 2 – Chequeo de temperatura de mezclado de asfalto a 160° C y elaboración de Mezcla Asfáltica.

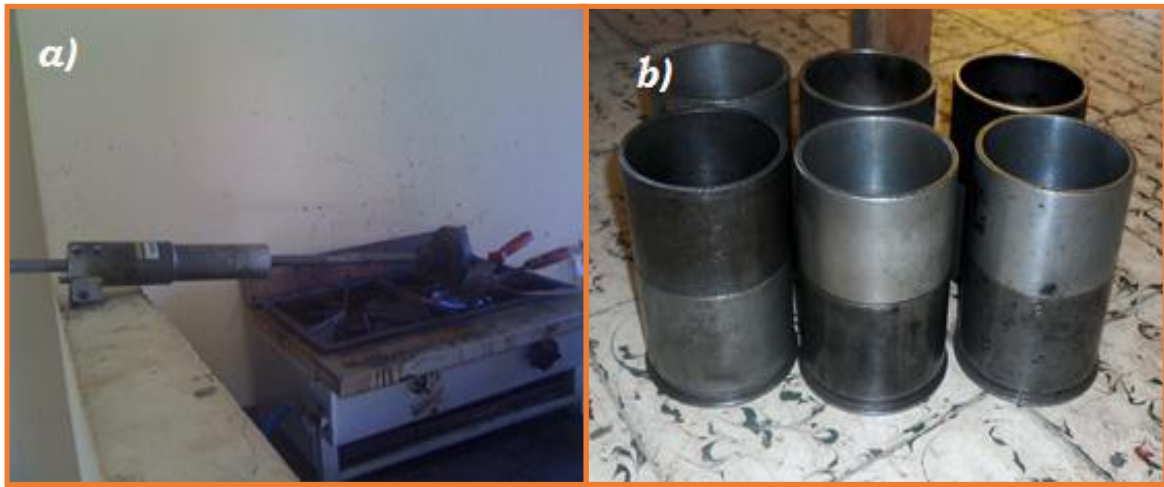


ANEXO A -1- 3 : Fotografía 3 – Mezcla Asfáltica



ANEXO A -1- 4 : Fotografía 4 – Calentado de equipo de compactación:

- a. Calentamiento en cocina de martillo de compactación y espátulas,
- b. Moldes de compactación previo a calentamiento en horno.



ANEXO A -1- 5 : Fotografía 5 – Colocación de la mezcla en el molde de compactación y verificación de temperatura de compactación hasta llegar a 148 °C.



ANEXO A -1- 6 : Fotografía 6 – Curado de briquetas



ANEXO A -1- 7 : Fotografía 8 – Peso seco de la briqueta



ANEXO A -1- 8 : Fotografía 7 – Peso sumergido de la briqueta, luego se seca superficialmente y se vuelve a pesar.



ANEXO A -1- 9 : Fotografía 9 – Equipo de vacío, picnómetro y manómetro ensamblado, para ensayo de la Densidad Máxima Teórica



ANEXO A -1- 10 : Fotografía 10 – Ensayo de la densidad máxima teórica de la mezcla sin compactar



ANEXO A -1- 11 : Fotografía 11 – Ensayo de Estabilidad y Flujo en briqueta compactada



ANEXO A - 2 : Diseños de Mezclas Asfálticas en Caliente

ANEXO A - 2 - 1 : Informe diseño de Mezcla MAC-1-AC

Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC-1-AC)

BANCO EL PORTILLO, PROINCO

Elaborado por:



Presentado a:

Marcos Lenin Roque Mendoza

James Francisco Herrera Largaespada

CONTENIDO

1.	Introducción	3
2.	Objetivo	3
3.	Información General	3
3.1	Diseño elaborado por:	3
3.2	Fecha de Elaboración del Informe de Diseño.	3
3.3	Responsables de la elaboración del Diseño.	3
3.4	Especificación de Diseño.	3
3.5	Tipo de Mezcla	3
4.	Descripción del Ligante Asfáltico Utilizado.	3
4.1	Ligante Asfáltico	3
4.2	Fecha de muestreo del Ligante Asfáltico	3
4.3	Temperatura de la mezcla y compactación.....	4
5.	Descripción de los Agregados Utilizado.	4
5.1	Fuente de los agregados.....	4
5.2	Fecha de Muestreo de los Agregados.	4
6.	Propiedades Físicas de los Agregados.	4
6.1	Análisis de las propiedades físicas del Agregado Grueso, Tamaño máximo de 12.5 mm.....	5
6.2	Análisis de las propiedades físicas del Agregado Fino, Tamaño máximo de 9.5 mm.....	5
7.	Combinación de agregados para obtener la granulometría del diseño.....	6
7.1	Combinación Agregados Grueso y Fino.	6
7.2	Gravedad Específica y absorción de los agregados combinados.	7
8.	Contenido Optimo de Asfalto y Propiedades del Diseño de la Mezcla.	7
9.	Conclusiones.	8
10.	Anexos.....	9

1. Introducción

La tesis de pregrado tiene como fin revisar y analizar el método Marshall a través de la metodología racional de densificación y resistencia de geomateriales compactados (RAMCODES), es por eso que Insuma ha realizado diseño de mezcla asfáltica de acuerdo al procedimiento de diseño establecido en Método Marshall.

2. Objetivo

Realizar diseño de mezcla asfáltica en caliente, a fin de conocer el contenido de asfalto óptimo y los parámetros de la mezcla cumpliendo especificaciones tales como ASTM D 3515 y NIC-2000.

3. Información General

3.1 Diseño elaborado por:

El presente diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente, fue elaborado por el Instituto de Suelos y Materiales S,A (INSUMA).

3.2 Fecha de Elaboración del Informe de Diseño.

El presente informe se elaboró el día 23 de noviembre de 2016.

3.3 Responsables de la elaboración del Diseño.

Ing. Ervin Vilchez	Jefe de Laboratorio de INSUMA
Maycol Zavala	Técnico Laboratorista de INSUMA
Junior Orozco	Técnico Laboratorista de INSUMA

3.4 Especificación de Diseño.

El método que se utilizó para cumplimiento de la graduación de los agregados y el rango de trabajo se detallan en las especificaciones estándar para mezcla de pavimentos bituminosos mezcladas y colocadas en caliente, ASTM D 3515, tabla 1 y tabla 3

Para los parámetros de la mezcla asfáltica en caliente se utilizaron especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes, NIC-2000, Cuadro 405-1 y Cuadro 405-2.

3.5 Tipo de Mezcla

El diseño corresponde a una Mezcla Asfáltica en Caliente con agregado de tamaño máximo de 1/2", de acuerdo al procedimiento de diseño establecido en Método Marshall.

4. Descripción del Ligante Asfáltico Utilizado.

4.1 Ligante Asfáltico

El ligante asfáltico es asfalto AC-30 proveniente de la empresa UNO de Nicaragua. El peso específico del cemento Asfáltico a 60°F (15.5°C) es de 1,037 kg/m³.

4.2 Fecha de muestreo del Ligante Asfáltico

El Ligante Asfáltico fue muestreado y remitido el 28 de septiembre de 2016 por el personal de Pavinic, según Designación ASTM D 140-01.

4.3 Temperatura de la mezcla y compactación.

El ligante asfáltico se calentó a una temperatura de 160 °C para la combinación de los agregados y la mezcla se compactó a una temperatura de 148°C. Ver Figura N° 05. Curva Reologica del ligante asfáltico AC-30.

5. Descripción de los Agregados Utilizado.

5.1 Fuente de los agregados.

Los agregados son producidos mediante trituración por la Empresa Proinco, localizada en Veracruz, departamento de Managua cuyos materiales grava y cero son extraídos del Banco "El Portillo".

5.2 Fecha de Muestreo de los Agregados.

Los agregados fueron muestreados por el Técnico de Laboratorio de INSUMA Junior Orozco, según designación ASTM D 75 el día 20 de septiembre de 2016.

6. Propiedades Físicas de los Agregados.

De acuerdo con las especificaciones estándar para mezcla de pavimentos bituminosos mezcladas y colocadas en calientes (ASTM D 3515), los agregados que componen el diseño de la mezcla asfáltica en caliente deben cumplir con la graduación de la tabla 1, columna D-6 (Para mezcla de graduación densa) y la formula de trabajo debe cumplir con las tolerancias de la tabla 3.

Para establecer la granulometría de diseño, se partió del análisis granulométrico de los agregados por separado, al obtener el análisis individual de los agregados se estableció los porcentajes del grueso y el fino que componen la graduación del diseño. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla N° 01. Granulometría del agregado grueso
(Tamaño máximo de 12.5 mm), ASTM C-136

Tamiz		Material que pasa (%)
N°	mm	
1/2"	12.5	100
3/8"	9.5	90
N°4	4.75	38
N°8	2.36	13
N° 16	1.18	7.6
N° 30	0.60	5.7
N° 50	0.30	4.7
N° 100	0.15	4.0
N° 200	0.075	3.2

Figura N° 01. Granulometría del agregado grueso
(Tamaño máximo de 12.5 mm), ASTM C-136

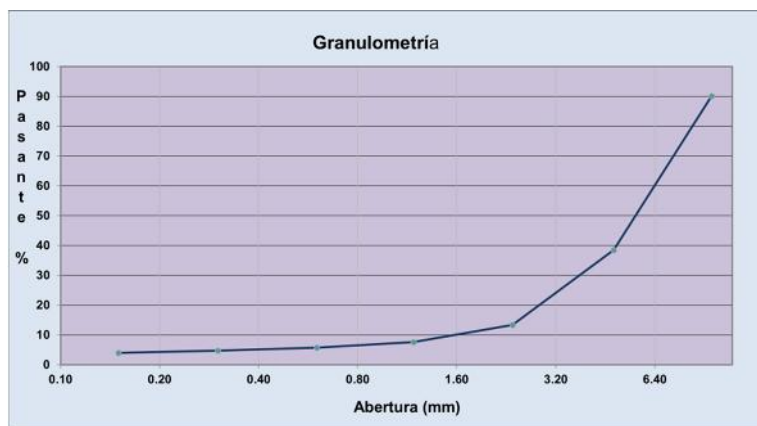
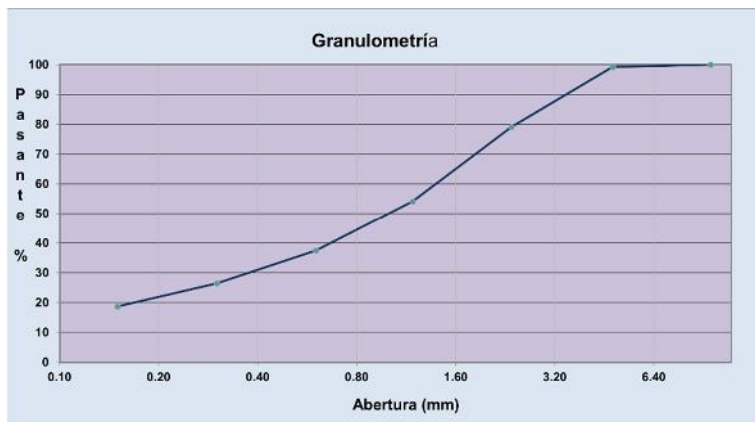


Tabla Nº 02. Granulometría del agregado fino
 (Tamaño máximo de 9.5 mm), ASTM C-136

Tamiz		Material que pasa (%)
Nº	mm	
1/2"	12.5	100
3/8"	9.5	100
Nº4	4.75	99
Nº8	2.36	79
Nº 16	1.18	54
Nº 30	0.60	37
Nº 50	0.30	26
Nº 100	0.15	19
Nº 200	0.075	13

Figura Nº 02. Granulometría del agregado fino
 (Tamaño máximo de 9.5 mm), ASTM C-136


6.1 Análisis de las propiedades físicas del Agregado Grueso, Tamaño máximo de 12.5 mm

Tabla Nº 03. Propiedades físicas del Agregado Grueso

Descripción del Ensayo	Método	Resultado	Unidades
Peso Volumetricos secos sueltos	ASTM C 29	1724	kg/m ³
Peso Volumetricos secos varillados	ASTM C 29	1822	kg/m ³
Gravedad Especifica (s)	ASTM C 127	2.775	kg/m ³
Absorción	ASTM C 127	2.5	%
Degaste de los angeles	ASTM C 131	32.2	%
Indice de Durabilidad del grueso	AASHTO T 210	90	%

6.2 Análisis de las propiedades físicas del Agregado Fino, Tamaño máximo de 9.5 mm

Tabla Nº 04. Propiedades físicas del Agregado Fino

Descripción del Ensayo	Estandar	Resultado	Unidades
Equivalente de Arena,%	ASTM D-2419	83	%
Peso Volumetricos secos sueltos	ASTM C 29	1736	kg/m ³
Peso Volumetricos secos varillados	ASTM C 29	1963	kg/m ³
Gravedad Especifica (s)	ASTM C 128	2.886	kg/m ³
Absorción	ASTM C 128	0.9	%
Indice de Durabilidad	AASHTO T 210	93	%
Intemperismo acelerado, 5 Ciclos, %	ASTM C 88	37.9	%

7. Combinación de agregados para obtener la granulometría del diseño.

7.1 Combinación Agregados Grueso y Fino.

Para cumplir con la especificación ASTM D 3515 Tabla 1, columna D-6, la granulometría del diseño se evaluó de la siguiente combinación de agregados:

Tabla N° 05. Combinación de Agregados

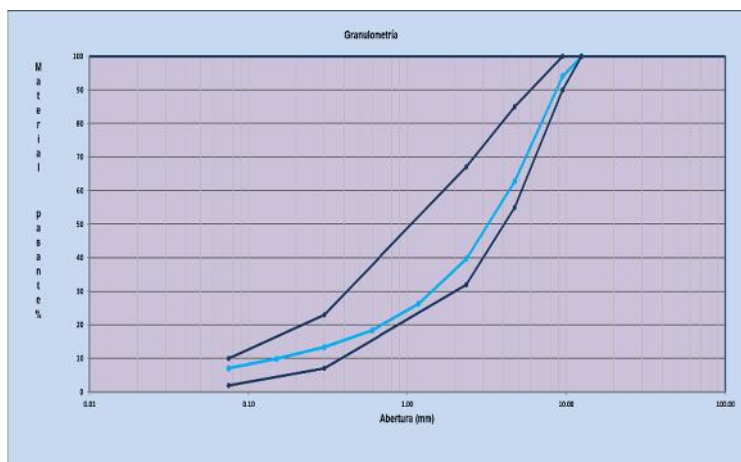
Descripción	Tamaño Maximo	Porcentaje
Agregado Grueso	12,5 mm	60 %
Agregado Fino	9,5 mm	40 %

Los agregados combinados presentados en el Tabla N° 05 cumplen con la granulometría de la especificación ASTM D 3515, Tabla 1, Columna D-6, como se muestra a continuación:

Tabla N° 06. Granulometría de los agregados combinados (60% Grueso – 40% Fino)

Tamiz		Material que pasa (%)	ASTM D 3515 Tabla 1, Columna D-6
N°	mm		
1/2"	12.5	100	100
3/8"	9.5	94	90-100
N°4	4.75	63	55-85
N°8	2.36	40	32-67
N° 16	1.18	26	-
N° 30	0.60	18	-
N° 50	0.30	13	7-23
N° 100	0.15	10	-
N° 200	0.075	7.1	2-10

Figura N° 03. Granulometría de los agregados combinados (60% Grueso – 40% Fino)

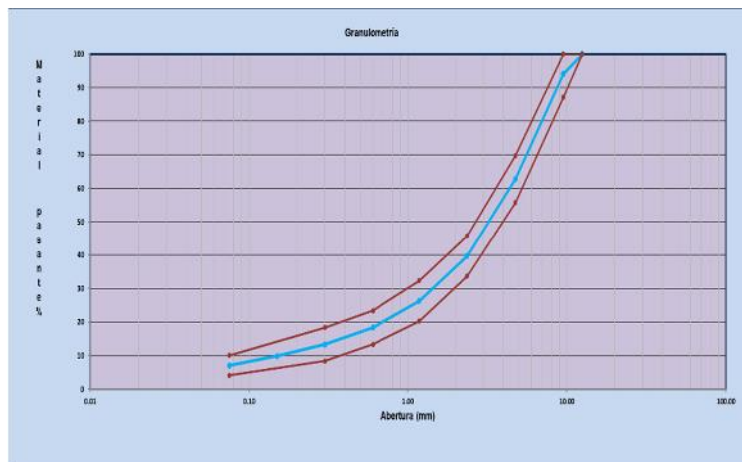


Los límites de acción, que controlan la uniformidad de la producción de la mezcla asfáltica, están tomados de la especificación ASTM D 3515, Tabla 3, los cuales indican los siguientes valores para cada tamiz de control:

Tabla N° 07. Curva granulométrica con fórmulas de trabajo.

Tamiz		Granulometría de Diseño	ASTM D 3515 Tabla 3	
N°	mm	(%)	Min. (%)	Máx(%)
1/2"	12.5	100	100.0	100.0
3/8"	9.5	94	87.1	100.0
Nº4	4.75	63	55.8	69.8
Nº8	2.36	40	33.7	45.7
Nº 16	1.18	26	20.3	32.3
Nº 30	0.60	18	13.4	23.4
Nº 50	0.30	13	8.4	18.4
Nº 100	0.15	10	-	-
Nº 200	0.075	7.1	4.1	10.1

Figura N° 04. Curva granulométrica con fórmulas de trabajo.



7.2 Gravedad Específica y absorción de los agregados combinados.

Tabla N° 08. Gravedad Específica de agregados combinados

Descripción	Unidad	Agregado Grueso	Agregado Fino	Filler	Agregados combinados
Gravedad Específica (s)	kg/m ³	2.775	2.886	2.915	2.820

8. Contenido Optimo de Asfalto y Propiedades del Diseño de la Mezcla.

A partir del análisis de las propiedades de los especímenes de mezcla asfáltica en caliente, preparados de acuerdo con la fórmula de trabajo y con diferentes contenidos de asfalto Ver anexo (Pág. 11-16), utilizando el Método de Diseño Marshall, se ha determinado que el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla es de 5.95 % para obtener un porcentaje de vacíos con aire de 4.0 % en la mezcla compactada al 148 °C.

Para las propiedades que se presentan en la tabla N° 09 se trabajó con las especificaciones NIC-2000 Cuadro 405-1 y Cuadro 405-2.

Tabla N° 09. Propiedades del diseño de la mezcla

Propiedades	Resultados de Diseño	Unidades	Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1 y Cuadro 405-2
Optimo de Asfalto	5.95	%	-
N° de Golpes	75	-	75
Temperatura de Mezclado	160	°C	-
Temperatura de Compactación	148	°C	-
Estabilidad	4,340	lb	Mínimo 1800
Flujo	13.6	mm	8-14
Vacios Totales	4.00	%	3-5
V.A.M	15.70	%	Mínimo 15
V.A.F	73.5	%	65-75
D.M.T	2.636	kg/m ³	-
Relación Polvo/Asfalto	1.19	%	0.6 - 1.3

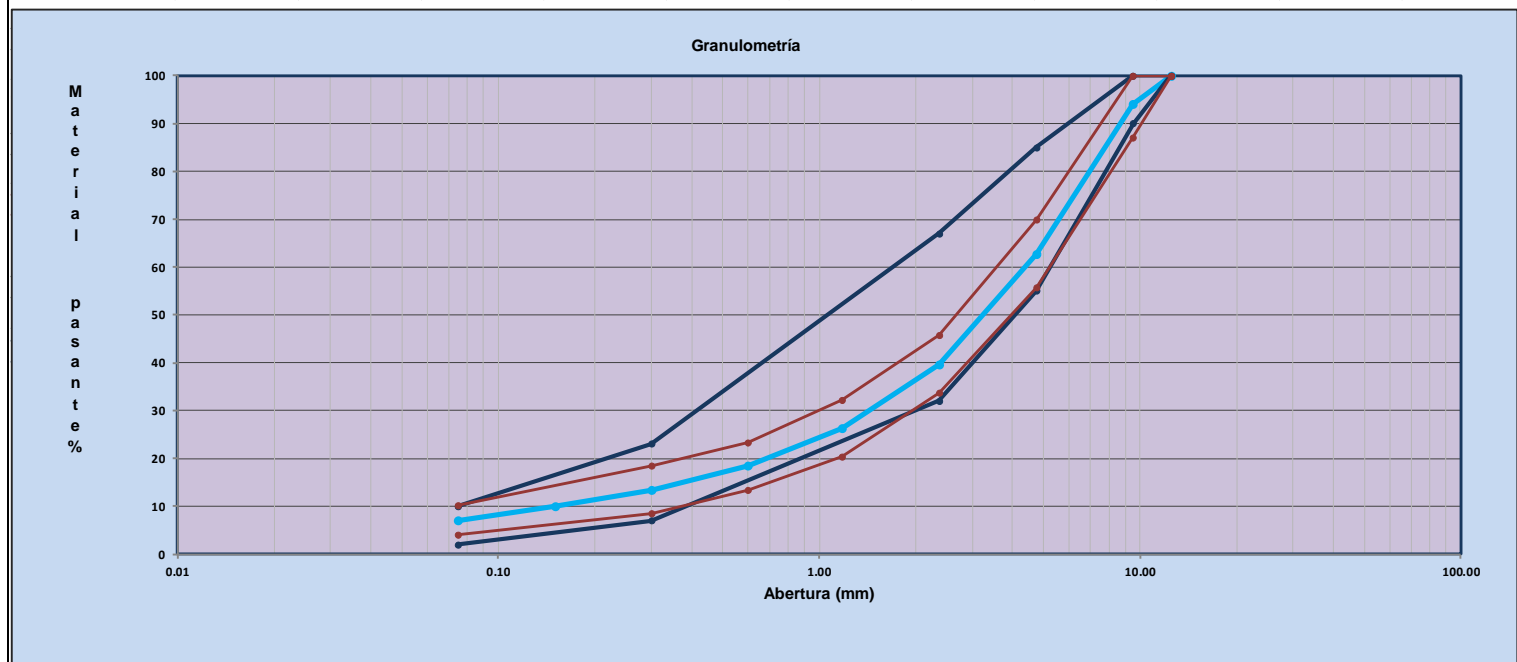
9. Conclusiones.

Para el presente diseño de mezcla asfáltica en caliente realizado con materiales procedente del banco PROINCO, el porcentaje óptimo de asfalto determinado es de 5.95% de asfalto sobre el peso total de la mezcla, utilizando la combinación de agregados de 60% Agregado grueso (12.5 mm) – 40% Agregado Fino (9.5 mm) que cumple con la graduación de la tabla 1, columna D-6 del ASTM D 3515.

10. Anexos.

Tabla N° 10. Granulometría de los agregados Combinados (60% Agregado de 1/2" – 40% Agregado 1/4")

Granulometría de los Agregados por Separado											
Tamaño máximo de los agregados			1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200
Agregado 1/2"			100.0	90.1	38.4	13.3	7.6	5.7	4.7	4.0	3.2
Agregado 1/4"			100.0	100.0	99.3	79.2	54.1	37.5	26.4	18.8	13.1
Granulometría de los Agregados Combinados											
Agregados utilizados	Porcentaje de Participación		1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200
Agregado 1/2"	60		60.0	54.1	23.1	8.0	4.6	3.4	2.8	2.4	1.9
Agregado 1/4"	40		40.0	40.0	39.7	31.7	21.7	15.0	10.6	7.5	5.2
Datos de Diseño (Rango de Trabajo), Especificación ASTM D 3515, Tabla 3											
Curva de Diseño	100		100	94	63	40	26	18	13	10	7.1
Tolerancia Superior			100	100	69.8	45.7	32.3	23.4	18.4	-	10.1
Tolerancia Inferior			100	87.1	55.8	33.7	20.3	13.4	8.4	-	4.1
Especificación ASTM D 3515, Tabla 1, Columna D-6											
Especificación Superior			100	100	85	67	-	-	23	-	10
Especificación Inferior			100	90	55	32	-	-	7	-	2



Realizado por: Técnico Laboratorista Junior Orozco Firma _____

Realizado por: Técnico Laboratorista Maycol Zavala Firma _____

Revisado por: Jefe de Laboratorio, Ing. Ervin Vilchez Firma _____

Observaciones: _____

Figura N° 05. Curva Reologica del ligante asfaltico AC-30.



MUESTRA: 16092701

TEMPERATURA DE COMPACTACION: 146 - 150
156 - 161

FECHA: 27-sep-16

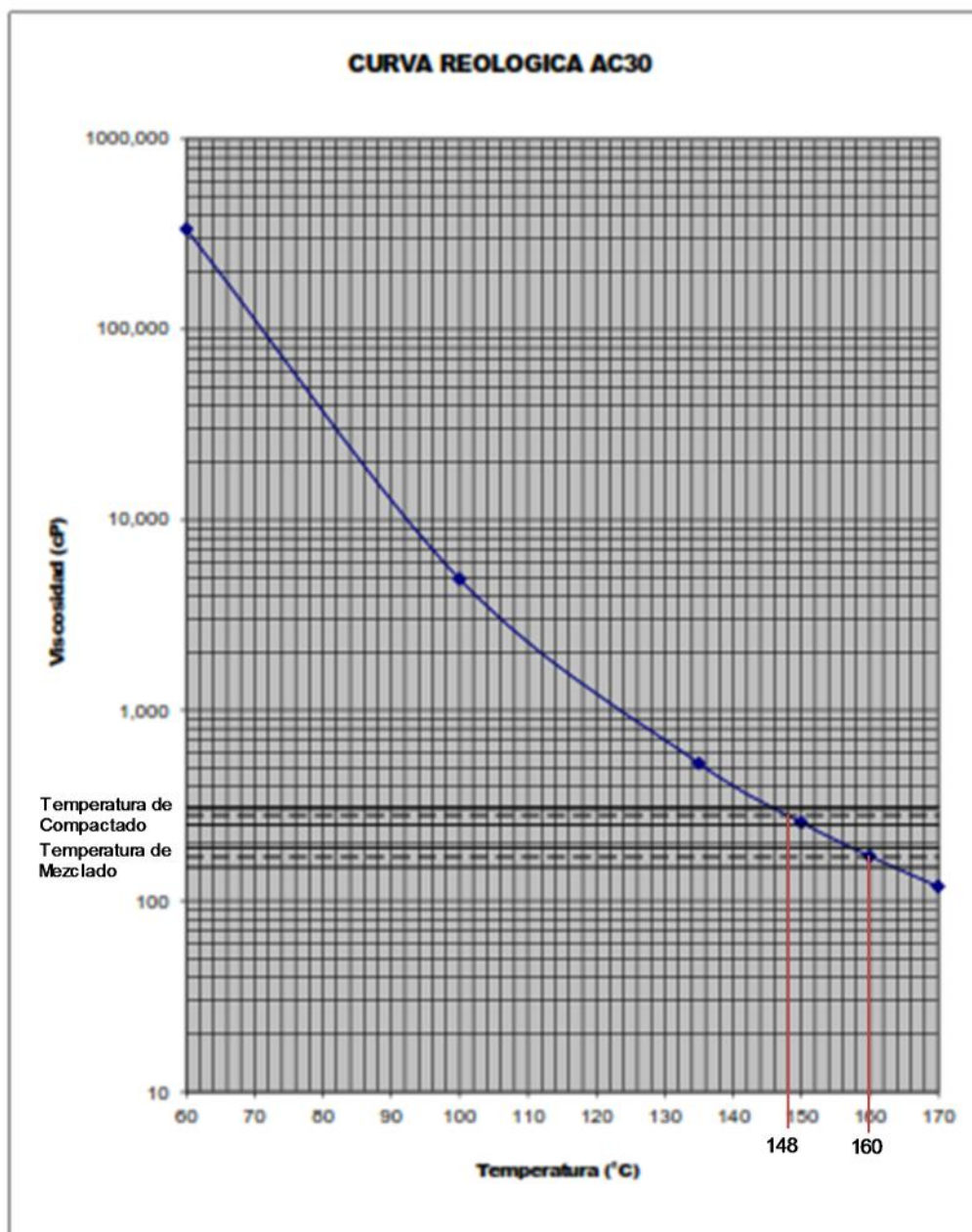


Tabla Nº 11. Método Marshall para contenido de asfalto de 4.5%

		CONTENIDO	ASFALTO	AGREGADO						
			4.50%	95.50%						
No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	GRAVEDAD ESPECIFICA		PORCENTAJES INDIVIDUALES					
			APARENTE	BULK						
1	Asfalto	T 43	1.037		4.50					
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.775	55.80					
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.886	32.60					
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.915		7.10					
MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA			Norma: AASHTO T 209-05							
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA								
		1	2	VOLUMEN	TEORICO					
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,557.90	1,558.90	(5+6-7)	(5/VOLUM EN)					
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	1,545.60	1,545.60							
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (despues de 10 min +/- 1 min)	2,529.80	2,530.50							
MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166										
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA			RESULTADOS					
		1	2	3						
8	Peso de la muestra al aire	1,269.40	1,265.80	1,267.20						
9	Peso Superficial Seco	1,273.80	1,271.40	1,272.40						
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	757.70	757.40	757.30						
11	Volumen de la Briqueta	516.10	514.00	515.10						
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.822					
13	Máxima Gravedad Específica de la Mezcla Suelta				2.716					
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.940					
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.473					
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.460	2.463	2.460	2.461					
CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)										
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA									
17	peso del agregado total=(16) x % agr. En mezcla gm					235.005				
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm					11.074				
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm					3.461				
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm					7.613				
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc					83.27				
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto,cc					7.341				
RESULTADOS										
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS					
		1	2	3						
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				3.09					
24	Vacios de aire = 100- (21) - (22), %				9.39					
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %				16.73					
26	Peso unitario = (16) x 62,4 lbs / pie cubico				153.55					
27	Factor de corrección	1.00	1.00	1.00						
28	Estabilidad medida a 140 °F . Lb	4,691.8	4,720.4	4,653.7						
29	Estabilidad corregida, lb.	4,691.8	4,720.4	4,653.7	4,688.66					
30	Escurrimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	8.00	8.00	7.00	7.67					
31	Relación Estabilidad / Flujo				10.94					
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				16.73					
33	Relación Filler / Betun (%)				2.29					
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				43.89					
35	Vacios Raices				9.39					
36	Pase 200				7.1					
Análisis Granulométrico de los Agregados										
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
% Pase	100	100	94	63	40	26	18	13	10	7.1
Realizado por:	Técnico Laboratorista Junior Orozco					Firma				
Realizado por:	Técnico Laboratorista Maycol Zavala					Firma				
Revisado por:	Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez					Firma				
Observaciones:										

Tabla N° 12. Método Marshall para contenido de asfalto de 5.0%

No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	CONTENIDO		PORCENTAJES INDIVIDUALES
			ASFALTO 5.00%	AGREGADO 95.00%	
			GRAVEDAD ESPECIFICA		
			APARENTE	BULK	
1	Asfalto	T 43	1.037		5.00
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.775	55.30
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.886	32.60
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.915		7.10
MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA					
			Norma: AASHTO T 209-05		
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA			
		1	2	VOLUMEN	TEORICO
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,561.40	1,564.50	(5+6-7)	(5/VOLUMEN)
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	1,545.60	1,545.60		
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (después de 10 min +/- 1 min)	2,525.00	2,527.20		
				582.45	2.683
MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166					
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA			
		1	2	3	RESULTADOS
8	Peso de la muestra al aire	1,275.10	1,273.60	1,273.00	
9	Peso Superficial Seco	1,278.30	1,276.00	1,276.40	
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	765.30	764.00	763.50	
11	Volumen de la Briqueta	513.00	512.00	512.90	
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.822
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta				2.683
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.928
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.326
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.486	2.488	2.482	2.485
CALCULOS (BASADOS EN 100 cc. DE MEZCLA COMPACTADA)					
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc. DE MEZCLA COMPACTADA				
17	peso del agregado total = (16) x % agr. En mezcla gm				236.076
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm				12.425
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm				3.131
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm				9.294
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc				83.64
22	Vol. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto, cc				8.962
RESULTADOS					
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS
		1	2	3	
23	Contenido efectivo de asfalto = $(1) - ((15) \times (2+3+4))$, %				3.74
24	Vacios de aire = $100 - (21) - (22)$, %				7.39
25	Vacios de agregado Mineral = $100 - (21)$, %				16.36
26	Peso unitario = $(16) \times 62.4 \text{ lbs} / \text{pie cubico}$				155.06
27	Factor de corrección	1.00	1.00	1.00	
28	Estabilidad medida a 140 °F. Lb	4,558.4	4,529.8	4,501.2	
29	Estabilidad corregida, lb.	4,558.4	4,529.8	4,501.2	4,529.80
30	Escurrecimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	10.00	10.00	10.00	10.00
31	Relación Estabilidad / Flujo				8.11
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				16.36
33	Relación Filler / Betun (%)				1.90
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				54.80
35	Vacios Raices				7.39
36	Pase 200				7.1

Análisis Granulométrico de los Agregados										
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
% Pase	100	100	94	63	40	26	18	13	10	7.1

Realizado por:	<u>Técnico Laboratorista Junior Orozco</u>	Firma	_____
Realizado por:	<u>Técnico Laboratorista Maycol Zavala</u>	Firma	_____
Revisado por:	<u>Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez</u>	Firma	_____
Observaciones:	_____		

Tabla Nº 13. Método Marshall para contenido de asfalto de 5.5%

		CONTENIDO	ASFALTO	AGREGADO								
			5.50%	94.50%								
No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	GRAVEDAD ESPECIFICA		PORCENTAJES INDIVIDUALES							
			APARENTE	BULK								
1	Asfalto	T 43	1.037		5.50							
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.775	54.80							
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.886	32.60							
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.915		7.10							
MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA												
		Norma:		AASHTO T 209-05								
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA										
		1	2	VOLUMEN	TEORICO							
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,569.30	1,568.00	(5+6-7)	(5/VOLUMEN)							
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	1,545.60	1,545.60									
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (despues de 10 min +/- 1 min)	2,523.90	2,524.40	590.10	2.658							
MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166												
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA										
		1	2	3	RESULTADOS							
8	Peso de la muestra al aire	1,279.60	1,277.80	1,281.10								
9	Peso Superficial Seco	1,281.30	1,279.70	1,283.40								
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	771.50	771.20	773.30								
11	Volumen de la Briqueta	509.80	508.50	510.10								
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.823							
13	Máxima Gravedad Específica de la Mezcla Suelta				2.658							
14	Gravedad Específica Efectiva del Agregado				2.924							
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.278							
16	Gravedad Específica Bulk de la Mezcla Compactada	2.510	2.513	2.511	2.511							
CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)												
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA											
17	peso del agregado total=(16) x % agr. En mezcla gm					237.332						
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm					13.813						
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm					3.033						
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm					10.780						
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc					84.08						
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto,cc					10.395						
RESULTADOS												
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS							
		1	2	3								
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				4.29							
24	Vacios de aire = 100- (21) - (22), %				5.52							
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %				15.92							
26	Peso unitario = (16) x 62,4 lbs / pie cubico				156.71							
27	Factor de corrección	1.00	1.00	1.00								
28	Estabilidad medida a 140 °F . Lb	4,434.5	4,463.1	4,482.1								
29	Estabilidad corregida, lb.	4,434.5	4,463.1	4,482.1	4,459.90							
30	Escurrimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	13.00	12.00	12.00	12.33							
31	Relación Estabilidad / Flujo				6.47							
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				15.92							
33	Relación Filler / Betun (%)				1.65							
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				65.30							
35	Vacios Raices				5.52							
36	Pase 200				7.1							
Análisis Granulométrico de los Agregados												
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200		
% Pase	100	100	94	63	40	26	18	13	10	7.1		
Realizado por:							Técnico Laboratorista Junior Orozco				Firma	
Realizado por:							Técnico Laboratorista Maycol Zavala				Firma	
Revisado por:							Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez				Firma	
Observaciones:												

Tabla Nº 14. Método Marshall para contenido de asfalto de 6.0%

No.	MATERIALES	CONTENIDO	ASFALTO		AGREGADO		PORCENTAJES INDIVIDUALES
			6.00%		94.00%		
			GRAVEDAD ESPECIFICA				
		NORMA AASHTO	APARENTE	BULK			
1	Asfalto	T 43	1.037				6.00
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.775			54.30
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.886			32.60
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.915				7.10
MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA							
		Norma: AASHTO T 209-05					
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA				VOLUMEN	TEORICO
		1	2			(5+6-7)	(5/VOLUMEN)
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,581.40	1,575.10				
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	1,545.60	1,545.60				
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (después de 10 min +/- 1 min)	2,526.00	2,522.80			599.45	2.633
MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166							
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA			RESULTADOS		
		1	2	3			
8	Peso de la muestra al aire	1,279.30	1,292.60	1,287.80			
9	Peso Superficial Seco	1,279.90	1,292.80	1,288.10			
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	774.90	782.30	779.50			
11	Volumen de la Briqueta	505.00	510.50	508.60			
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.823		
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta				2.633		
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.920		
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.217		
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.533	2.532	2.532	2.532		
CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)							
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA						
17	peso del agregado total = (16) x % agr. En mezcla gm						238.050
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm						15.195
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm						2.897
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm						12.298
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc						84.33
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto, cc						11.859
RESULTADOS							
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS		
		1	2	3			
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				4.86		
24	Vacios de aire = 100 - (21) - (22), %				3.81		
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %				15.67		
26	Peso unitario = (16) x 62.4 lbs / pie cubico				158.02		
27	Factor de corrección	1.04	1.00	1.00			
28	Estabilidad medida a 140 °F. Lb	4,358.2	4,310.6	4,386.8			
29	Estabilidad corregida, lb.	4,532.6	4,310.6	4,386.8	4,409.99		
30	Escurrecimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	14.00	15.00	14.00	14.33		
31	Relación Estabilidad / Flujo				5.51		
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				15.67		
33	Relación Filler / Betun (%)				1.46		
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				75.67		
35	Vacios Raices				3.81		
36	Pase 200				7.1		

Análisis Granulométrico de los Agregados										
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
% Pase	100	100	94.1	62.8	39.7	26.3	18.4	13.4	9.9	7.1

Realizado por: Técnico Laboratorista Junior Orozco

Firma: _____

Realizado por: Técnico Laboratorista Maycol Zavala

Firma: _____

Revisado por: Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez

Firma: _____

Observaciones: _____

Tabla Nº 15. Método Marshall para contenido de asfalto de 6.5%

		CONTENIDO	ASFALTO		AGREGADO	
			6.50%		93.50%	
No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	GRAVEDAD ESPECIFICA		PORCENTAJES INDIVIDUALES	
			APARENTE	BULK		
1	Asfalto	T 43	1.037		6.50	
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.775	53.80	
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.886	32.60	
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.915		7.10	

MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA					
		Norma: AASHTO T 209-05			
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA			
		1	2	VOLUMEN	TEORICO
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,575.40	1,585.40	(5+6-7)	(5/VOLUM EN)
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	1,545.60	1,545.60		
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (despues de 10 min +/- 1 min)	2,518.00	2,524.50		
		604.75		2.613	

MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166					
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA			RESULTADOS
		1	2	3	
8	Peso de la muestra al aire	1,284.70	1,286.80	1,290.90	
9	Peso Superficial Seco	1,284.70	1,287.00	1,291.00	
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	780.30	781.50	784.00	
11	Volumen de la Briqueta	504.40	505.50	507.00	
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.823
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta				2.613
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.922
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.244
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.547	2.546	2.546	2.546

CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)		
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA	
17	peso del agregado total=(16) x % agr. En mezcla gm	
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm	
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm	
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm	
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc	
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto,cc	

RESULTADOS					
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS
		1	2	3	
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				5.34
24	Vacios de aire = 100- (21) - (22), %				2.57
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %				15.67
26	Peso unitario = (16) x 62,4 lbs / pie cubico				158.89
27	Factor de corrección	1.04	1.04	1.04	
28	Estabilidad medida a 140 °F . Lb	3,919.8	3,853.1	3,872.1	
29	Estabilidad corregida, lb.	4,076.6	4,007.2	4,027.0	4,036.92
30	Escurrimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	15.00	16.00	16.00	15.67
31	Relación Estabilidad / Flujo				4.61
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				15.67
33	Relación Filler / Betun (%)				1.33
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				83.62
35	Vacios Raices				2.57
36	Pase 200				7.1

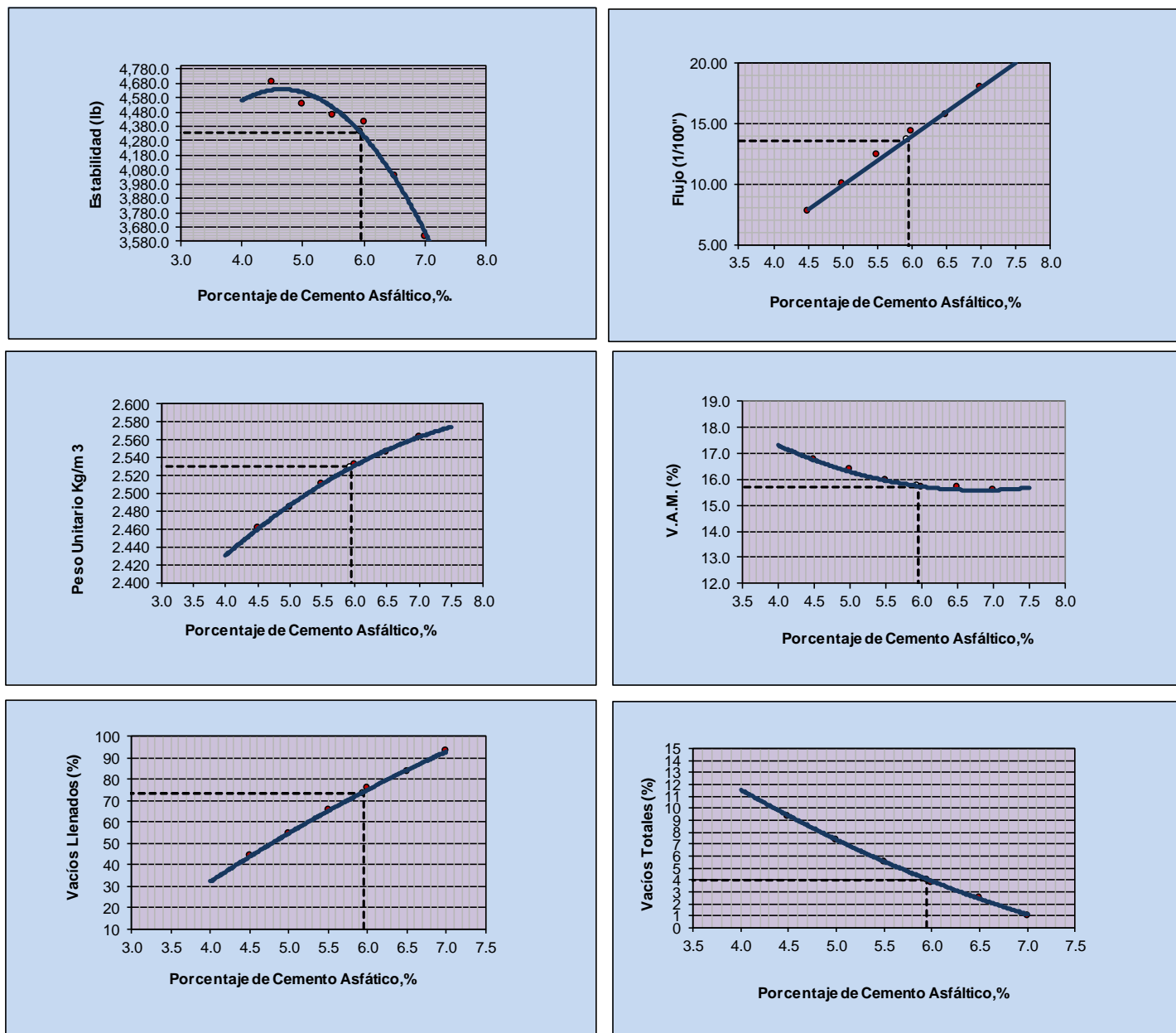
Análisis Granulométrico de los Agregados										
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
% Pase	100	100	94	63	40	26	18	13	10	7.1

Realizado por:	Técnico Laboratorista Junior Orozco	Firma	
Realizado por:	Técnico Laboratorista Maycol Zavala	Firma	
Revisado por:	Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez	Firma	
Observaciones:			

Tabla Nº 16. Método Marshall para contenido de asfalto de 7.0%

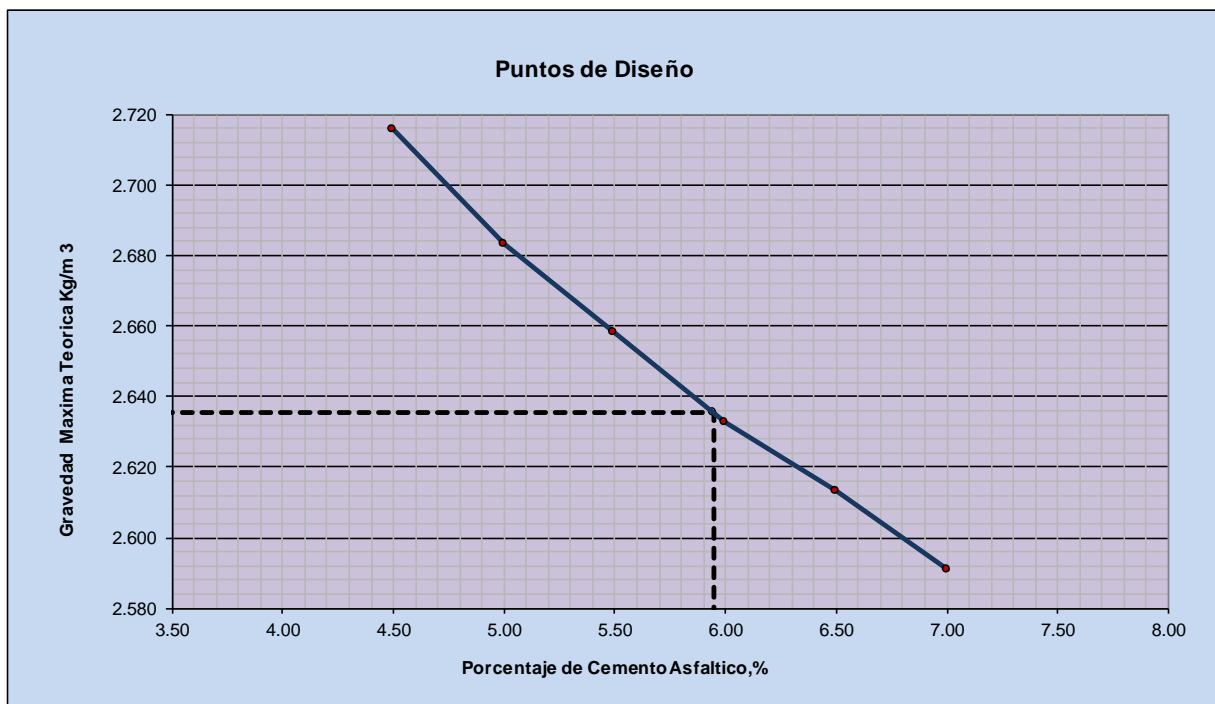
		CONTENIDO	ASFALTO	AGREGADO						
			7.00%	93.00%						
No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	GRAVEDAD ESPECIFICA		PORCENTAJES INDIVIDUALES					
			APARENTE	BULK						
1	Asfalto	T 43	1.037		7.00					
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.775	53.30					
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.886	32.60					
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.915		7.10					
MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA			Norma: AASHTO T 209-05							
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA								
		1	2	VOLUMEN	TEORICO					
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,583.00	1,593.00	(5+6-7)	(5/VOLUMEN)					
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	8,062.00	8,062.00							
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (despues de 10 min +/- 1 min)	9,034.10	9,040.00	612.95	2.591					
MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166										
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA								
		1	2	3	RESULTADOS					
8	Peso de la muestra al aire	1,302.10	1,280.70	1,290.50						
9	Peso Superficial Seco	1,302.10	1,280.70	1,290.50						
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	793.80	781.40	787.20						
11	Volumen de la Briqueta	508.30	499.30	503.30						
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.823					
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta				2.591					
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.920					
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.216					
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.562	2.565	2.564	2.564					
CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)										
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA									
17	peso del agregado total=(16) x % agr. En mezcla gm					238.413				
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm					17.945				
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm					2.898				
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm					15.047				
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc					84.44				
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto,cc					14.510				
RESULTADOS										
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS					
		1	2	3						
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				5.87					
24	Vacios de aire = 100- (21) - (22), %				1.05					
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %				15.56					
26	Peso unitario = (16) x 62.4 lbs / pie cubico				159.97					
27	Factor de corrección	1.04	1.04	1.04						
28	Estabilidad medida a 140 °F. Lb	3,414.6	3,471.8	3,538.5						
29	Estabilidad corregida, lb.	3,551.2	3,610.7	3,680.1	3,613.97					
30	Escurrimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	18.00	18.00	18.00	18.00					
31	Relación Estabilidad / Flujo				3.59					
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				15.56					
33	Relación Filler / Betun (%)				1.21					
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				93.26					
35	Vacios Raices				1.05					
36	Pase 200				7.1					
Análisis Granulométrico de los Agregados										
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
% Pase	100	100	94	63	40	26	18	13	10	7.1
Realizado por:	Técnico Laboratorista Junior Orozco					Firma				
Realizado por:	Técnico Laboratorista Maycol Zavala					Firma				
Revisado por:	Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez					Firma				
Observaciones:										

Figura N° 06. Propiedades Marshall con óptimo de asfalto de 5.95%



Contenido Óptimo de Asfalto: 5.95%
Vacio Totales: 4.0 %
Estabilidad: 4,340 lb
Flujo: 13.6 mm
VAM: 15.7%
VAF: 73.5%

Figura Nº 07. Gravedad Máxima Teórica con óptimo de asfalto de 5.95%



Contenido Óptimo de Asfalto: 5.95%
Densidad Máxima Teórica: 2,636 kg/m³

Los resultados solamente se refiere(n) a la(s) muestra(s) ensayada(s)
Este informe no puede ser reproducido excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSUMA

ANEXO A - 2 - 2 : Informe diseño de Mezcla MAC-2-PG

Diseño de Mezcla Asfáltica (MAC-2-PG)

BANCO EL PORTILLO, PROINCO

Elaborado por:



Presentado a:

Marcos Lenin Roque Mendoza

James Francisco Herrera Largaespada

CONTENIDO

1.	Introducción	3
2.	Objetivo	3
3.	Información General	3
3.1	Diseño elaborado por:	3
3.2	Fecha de Elaboración del Informe de Diseño.	3
3.3	Responsables de la elaboración del Diseño.	3
3.4	Especificación de Diseño.	3
3.5	Tipo de Mezcla	3
4.	Descripción del Ligante Asfáltico Utilizado.	3
4.1	Ligante Asfáltico	3
4.2	Fecha de muestreo del Ligante Asfáltico	4
4.3	Temperatura de la mezcla y compactación.....	4
5.	Descripción de los Agregados Utilizado.	4
5.1	Fuente de los agregados.....	4
5.2	Fecha de Muestreo de los Agregados.	4
6.	Propiedades Físicas de los Agregados.	5
6.1	Análisis de las propiedades físicas del Agregado Grueso, Tamaño máximo de 12.5 mm.....	6
6.2	Análisis de las propiedades físicas del Agregado Fino, Tamaño máximo de 9.5 mm.....	6
7.	Combinación de agregados para obtener la granulometría del diseño.....	7
7.1	Combinación Agregados Grueso y Fino.	7
7.2	Gravedad Específica y absorción de los agregados combinados.	8
8.	Contenido Optimo de Asfalto y Propiedades del Diseño de la Mezcla.	8
9.	Conclusiones.	9
10.	Anexos.....	10

1. Introducción

La tesis de pregrado tiene como fin revisar y analizar el método Marshall a través de la metodología racional de densificación y resistencia de geomateriales compactados (RAMCODES), es por eso que Insuma ha realizado diseño de mezcla asfáltica de acuerdo al procedimiento de diseño establecido en Método Marshall.

2. Objetivo

Realizar diseño de mezcla asfáltica en caliente con polímero, a fin de conocer el contenido de asfalto óptimo y los parámetros de la mezcla cumpliendo especificaciones tales como ASTM D 3515 y NIC-2000.

3. Información General

3.1 Diseño elaborado por:

El presente diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente con polímero, fue elaborado por el Instituto de Suelos y Materiales S,A (INSUMA).

3.2 Fecha de Elaboración del Informe de Diseño.

El presente informe se elaboró el día 16 de diciembre de 2016.

3.3 Responsables de la elaboración del Diseño.

Ing. Ervin Vilchez	Jefe de Laboratorio de INSUMA
Maycol Zavala	Técnico Laboratorista de INSUMA
Junior Orozco	Técnico Laboratorista de INSUMA

3.4 Especificación de Diseño.

El método que se utilizó para cumplimiento de la graduación de los agregados y el rango de trabajo se detallan en las especificaciones estándar para mezcla de pavimentos bituminosos mezcladas y colocadas, ASTM D 3515, tabla 1 y tabla 3

Para los parámetros de la mezcla asfáltica en caliente se utilizaron especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes, NIC-2000, Cuadro 405-1 y Cuadro 405-2.

3.5 Tipo de Mezcla

El diseño corresponde a una Mezcla Asfáltica en Caliente con polímero con agregado de tamaño máximo de 1/2", de acuerdo al procedimiento de diseño establecido en Método Marshall.

4. Descripción del Ligante Asfáltico Utilizado.

4.1 Ligante Asfáltico

El ligante asfáltico es asfalto modificado PG 76-22, el peso específico del cemento asfáltico es de 1,010 kg/m³. El asfalto normal es proveniente de la empresa PUMA de Nicaragua y es modificado por la empresa SOLTEC de Nicaragua.

4.2 Fecha de muestreo del Ligante Asfáltico

El Ligante Asfáltico fue muestreado y remitido el 28 de septiembre de 2016 por el personal de Pavinic, según Designación ASTM D 140-01.

4.3 Temperatura de la mezcla y compactación.

El ligante asfáltico se calentó a una temperatura de 170 °C para la combinación de los agregados y la mezcla se compactó a una temperatura de 180°C.

5. Descripción de los Agregados Utilizado.

5.1 Fuente de los agregados.

Los agregados son producidos mediante trituración por la Empresa Proinco, localizada en Veracruz, departamento de Managua cuyos materiales grava y cero son extraídos del Banco "El Portillo".

5.2 Fecha de Muestreo de los Agregados.

Los agregados fueron muestreados por el Técnico de Laboratorio de INSUMA Junior Orozco, según designación ASTM D 75 el día 20 de septiembre de 2016.

6. Propiedades Físicas de los Agregados.

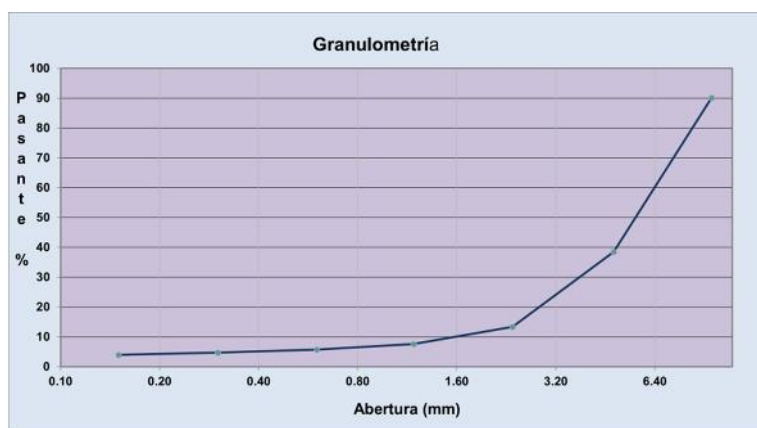
De acuerdo con las especificaciones estándar para mezcla de pavimentos bituminosos mezcladas y colocadas en calientes (ASTM D 3515), los agregados que componen el diseño de la mezcla asfáltica en caliente deben cumplir con la graduación de la tabla 1, columna D-6 (Para mezcla de graduación densa) y la formula de trabajo debe cumplir con las tolerancias de la tabla 3.

Para establecer la granulometría de diseño, se partió del análisis granulométrico de los agregados por separado, al obtener el análisis individual de los agregados se estableció los porcentajes del grueso y el fino que componen la graduación del diseño. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla N° 01. Granulometría del agregado grueso
(Tamaño máximo de 12.5 mm), ASTM C-136

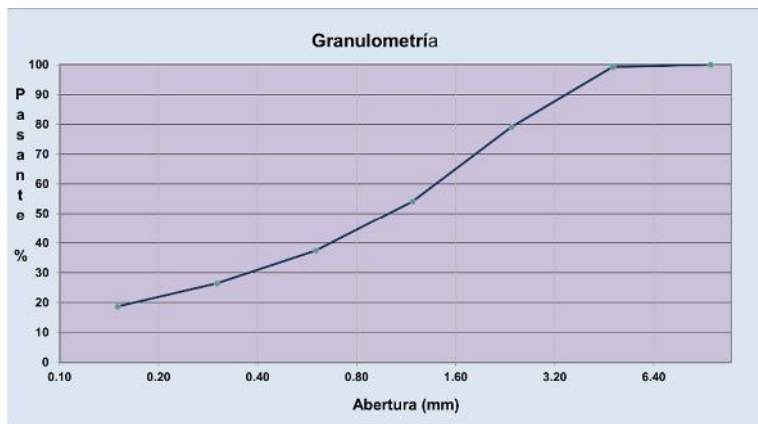
Tamiz		Material que pasa (%)
N°	mm	
1/2"	12.5	100
3/8"	9.5	90
N°4	4.75	38
N°8	2.36	13
N° 16	1.18	7.6
N° 30	0.60	5.7
N° 50	0.30	4.7
N° 100	0.15	4.0
N° 200	0.075	3.2

Figura N° 01. Granulometría del agregado grueso
(Tamaño máximo de 12.5 mm), ASTM C-136



**Tabla Nº 02. Granulometría del agregado fino
(Tamaño máximo de 9.5 mm), ASTM C-136**

Tamiz		Material que pasa (%)
Nº	mm	
1/2"	12.5	100
3/8"	9.5	100
Nº4	4.75	99
Nº8	2.36	79
Nº 16	1.18	54
Nº 30	0.60	37
Nº 50	0.30	26
Nº 100	0.15	19
Nº 200	0.075	13

**Figura Nº 02. Granulometría del agregado fino
(Tamaño máximo de 9.5 mm), ASTM C-136**


6.1 Análisis de las propiedades físicas del Agregado Grueso, Tamaño máximo de 12.5 mm

Tabla Nº 03. Propiedades físicas del Agregado Grueso

Descripción del Ensayo	Método	Resultado	Unidades
Peso Volumetricos secos sueltos	ASTM C 29	1724	kg/m ³
Peso Volumetricos secos varillados	ASTM C 29	1822	kg/m ³
Gravedad Especifica (s)	ASTM C 127	2.775	kg/m ³
Absorción	ASTM C 127	2.5	%
Degaste de los angeles	ASTM C 131	32.2	%
Indice de Durabilidad del grueso	AASHTO T 210	90	%

6.2 Análisis de las propiedades físicas del Agregado Fino, Tamaño máximo de 9.5 mm

Tabla Nº 04. Propiedades físicas del Agregado Fino

Descripción del Ensayo	Estandar	Resultado	Unidades
Equivalente de Arena, %	ASTM D-2419	83	%
Peso Volumetricos secos sueltos	ASTM C 29	1736	kg/m ³
Peso Volumetricos secos varillados	ASTM C 29	1963	kg/m ³
Gravedad Especifica (s)	ASTM C 128	2.886	kg/m ³
Absorción	ASTM C 128	0.9	%
Indice de Durabilidad	AASHTO T 210	93	%
Intemperismo acelerado, 5 Ciclos, %	ASTM C 88	37.9	%

7. Combinación de agregados para obtener la granulometría del diseño.

7.1 Combinación Agregados Grueso y Fino.

Para cumplir con la especificación ASTM D 3515 Tabla 1, columna D-6, la granulometría del diseño se evaluó de la siguiente combinación de agregados:

Tabla N° 05. Combinación de Agregados

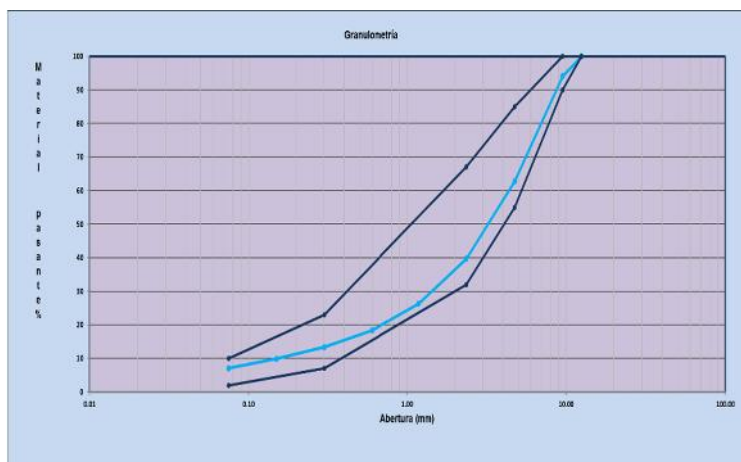
Descripción	Tamaño Maximo	Porcentaje
Agregado Grueso	12,5 mm	60 %
Agregado Fino	9,5 mm	40 %

Los agregados combinados presentados en el Tabla N° 05 cumplen con la granulometría de la especificación ASTM D 3515, Tabla 1, Columna D-6, como se muestra a continuación:

Tabla N° 06. Granulometría de los agregados combinados (60% Grueso – 40% Fino)

Tamiz		Material que pasa (%)	ASTM D 3515 Tabla 1, Columna D-6
N°	mm		
1/2"	12.5	100	100
3/8"	9.5	94	90-100
N°4	4.75	63	55-85
N°8	2.36	40	32-67
N° 16	1.18	26	-
N° 30	0.60	18	-
N° 50	0.30	13	7-23
N° 100	0.15	10	-
N° 200	0.075	7.1	2-10

Figura N° 03. Granulometría de los agregados combinados (60% Grueso – 40% Fino)

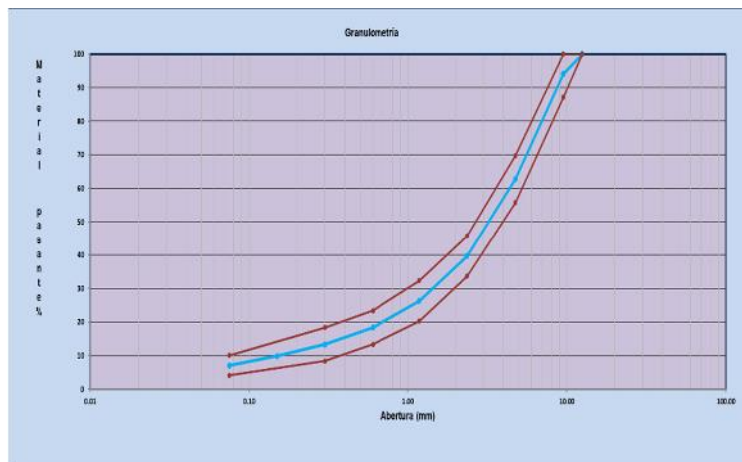


Los límites de acción, que controlan la uniformidad de la producción de la mezcla asfáltica, están tomados de la especificación ASTM D 3515, Tabla 3, los cuales indican los siguientes valores para cada tamiz de control:

Tabla N° 07. Curva granulométrica con fórmulas de trabajo.

Tamiz		Granulometría de Diseño	ASTM D 3515 Tabla 3	
N°	mm	(%)	Min. (%)	Màx(%)
1/2"	12.5	100	100.0	100.0
3/8"	9.5	94	87.1	100.0
Nº4	4.75	63	55.8	69.8
Nº8	2.36	40	33.7	45.7
Nº 16	1.18	26	20.3	32.3
Nº 30	0.60	18	13.4	23.4
Nº 50	0.30	13	8.4	18.4
Nº 100	0.15	10	-	-
Nº 200	0.075	7.1	4.1	10.1

Figura N° 04. Curva granulométrica con fórmulas de trabajo.



7.2 Gravedad Específica y absorción de los agregados combinados.

Tabla N° 08. Gravedad Específica de agregados combinados

Descripción	Unidad	Agregado Grueso	Agregado Fino	Filler	Agregados combinados
Gravedad Específica (s)	kg/m ³	2.775	2.886	2.915	2.820

8. Contenido Optimo de Asfalto y Propiedades del Diseño de la Mezcla.

A partir del análisis de las propiedades de los especímenes de mezcla asfáltica en caliente con polímero, preparados de acuerdo con la fórmula de trabajo y con diferentes contenidos de asfalto Ver anexo (Pág. 10-14), utilizando el Método de Diseño Marshall, se ha determinado que el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla es de 5.48 % para obtener un porcentaje de vacíos con aire de 4.0 % en la mezcla compactada al 170 °C.

Para las propiedades que se presentan en la tabla N° 09 se trabajó con las especificaciones NIC-2000 Cuadro 405-1 y Cuadro 405-2.

Tabla N° 09. Propiedades del diseño de la mezcla

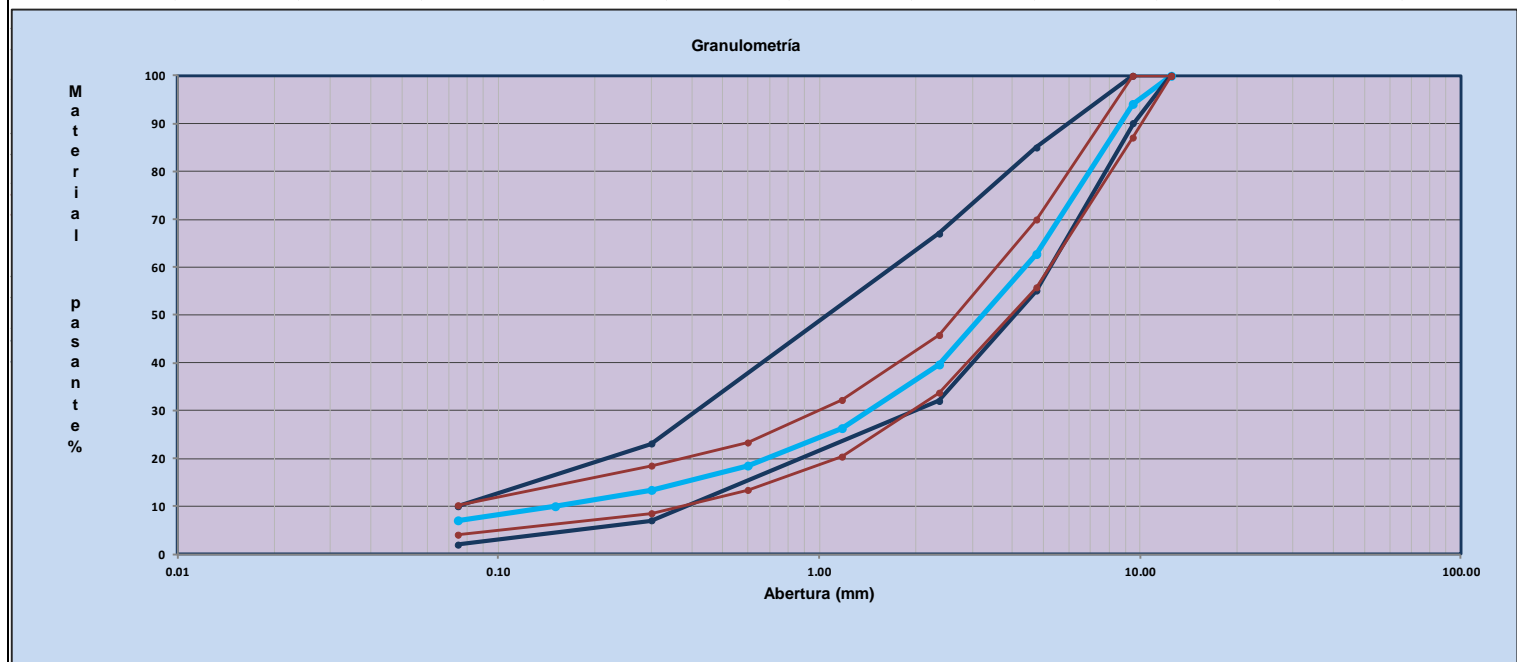
Propiedades	Resultados de Diseño	Unidades	Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1 y Cuadro 405-2
Optimo de Asfalto	5.48	%	-
Nº de Golpes	75	-	75
Temperatura de Mezclado	180	°C	-
Temperatura de Compactación	170	°C	-
Estabilidad	4,900	lb	Mínimo 1800
Flujo	9.35	mm	8-14
Vacios Totales	4.00	%	3-5
V.A.M	15.10	%	Mínimo 15
V.A.F	73.0	%	65-75
D.M.T	2.643	kg/m ³	-
Relación Polvo/Asfalto	1.30	%	0.6 - 1.3

Para el presente diseño de mezcla asfáltica en caliente con polímero realizado con materiales procedente del banco PROINCO, el porcentaje óptimo de asfalto determinado es de 5.48% de asfalto sobre el peso total de la mezcla, utilizando la combinación de agregados de 60% Agregado grueso (12.5 mm) – 40% Agregado Fino (9.5 mm) que cumple con la graduación de la tabla 1, columna D-6 del ASTM D 3515.

10. Anexos.

Tabla N° 10. Granulometría de los agregados Combinados (60% Agregado de 1/2" – 40% Agregado 1/4")

Granulometría de los Agregados por Separado											
Tamaño máximo de los agregados			1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200
Agregado 1/2"			100.0	90.1	38.4	13.3	7.6	5.7	4.7	4.0	3.2
Agregado 1/4"			100.0	100.0	99.3	79.2	54.1	37.5	26.4	18.8	13.1
Granulometría de los Agregados Combinados											
Agregados utilizados	Porcentaje de Participación		1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200
Agregado 1/2"	60		60.0	54.1	23.1	8.0	4.6	3.4	2.8	2.4	1.9
Agregado 1/4"	40		40.0	40.0	39.7	31.7	21.7	15.0	10.6	7.5	5.2
Datos de Diseño (Rango de Trabajo), Especificación ASTM D 3515, Tabla 3											
Curva de Diseño	100		100	94	63	40	26	18	13	10	7.1
Tolerancia Superior			100	100	69.8	45.7	32.3	23.4	18.4	-	10.1
Tolerancia Inferior			100	87.1	55.8	33.7	20.3	13.4	8.4	-	4.1
Especificación ASTM D 3515, Tabla 1, Columna D-6											
Especificación Superior			100	100	85	67	-	-	23	-	10
Especificación Inferior			100	90	55	32	-	-	7	-	2



Realizado por: Técnico Laboratorista Junior Orozco Firma _____

Realizado por: Técnico Laboratorista Maycol Zavala Firma _____

Revisado por: Jefe de Laboratorio, Ing. Ervin Vilchez Firma _____

Observaciones: _____

Tabla Nº 11. Método Marshall para contenido de asfalto de 4.5%

No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	CONTENIDO	ASFALTO	AGREGADO	PORCENTAJES INDIVIDUALES																																	
				4.50%	95.50%																																		
				GRAVEDAD ESPECIFICA																																			
				APARENTE	BULK																																		
1	Asfalto	T 43		1.010		4.50																																	
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85			2.775	55.80																																	
3	Agregado fino (-No. 8, + No. 200)	T 84			2.886	32.60																																	
4	Polvo mineral (-200)	T 100		2.915		7.10																																	
MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA																																							
			Norma: AASHTO T 209-05																																				
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO		MUESTRA																																				
			1	2	VOLUMEN	TEORICO																																	
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)		1,561.70	1,559.40	(5+6-7)	(5/VOLUMEN)																																	
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)		8,060.30	8,060.30																																			
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (después de 10 min +/- 1 min)		9,040.10	9,038.30																																			
					581.65	2.683																																	
MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166																																							
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO		NUMERO DE PRUEBA																																				
			1	2	3	RESULTADOS																																	
8	Peso de la muestra al aire		1,266.90	1,263.90	1,262.30																																		
9	Peso Superficial Seco		1,269.40	1,266.60	1,265.40																																		
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm		756.60	754.70	752.60																																		
11	Volumen de la Briqueta		512.80	511.90	512.80																																		
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados					2.822																																	
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta					2.683																																	
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado					2.910																																	
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)					1.082																																	
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada		2.471	2.469	2.462	2.467																																	
CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)																																							
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA																																						
17	peso del agregado total = (16) x % agr. En mezcla gm					235.604																																	
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm					11.102																																	
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm					2.549																																	
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm					8.553																																	
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc					83.48																																	
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto, cc					8.468																																	
RESULTADOS																																							
No.	RESULTADOS FINALES		NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS																																	
			1	2	3																																		
23	Contenido efectivo de asfalto = $(1) - ((15) \times (2+3+4))$, %					3.47																																	
24	Vacíos de aire = $100 - (21) - (22)$, %					8.05																																	
25	Vacíos de agregado Mineral = $100 - (21)$, %					16.52																																	
26	Peso unitario = $(16) \times 62.4 \text{ lbs} / \text{pie cubico}$					153.94																																	
27	Factor de corrección		1.00	1.00	1.00																																		
28	Estabilidad medida a 140 °F . lb		5,416.2	5,635.5	5,654.5																																		
29	Estabilidad corregida, lb.		5,416.2	5,635.5	5,654.5	5,568.75																																	
30	Escurrecimiento o (flujo) 0,01 pulgadas		6.00	7.00	7.00	6.67																																	
31	Relación Estabilidad / Flujo					14.95																																	
32	Vacío de Agregado Mineral (V.M.A.)					16.52																																	
33	Relación Filler / Betun (%)					2.05																																	
34	Vacío Rellenos con Asfalto (V.F.A.)					51.27																																	
35	Vacíos Raíces					8.05																																	
36	Pase 200					7.1																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="11">Análisis Granulométrico de los Agregados</th> </tr> <tr> <th>Tamiz</th> <th>3/4"</th> <th>1/2"</th> <th>3/8"</th> <th>No. 4</th> <th>No. 8</th> <th>No. 16</th> <th>No. 30</th> <th>No. 50</th> <th>No. 100</th> <th>No. 200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Pase</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>94</td> <td>63</td> <td>40</td> <td>26</td> <td>18</td> <td>13</td> <td>10</td> <td>7.1</td> </tr> </tbody> </table>							Análisis Granulométrico de los Agregados											Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200	% Pase	100	100	94	63	40	26	18	13	10	7.1
Análisis Granulométrico de los Agregados																																							
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200																													
% Pase	100	100	94	63	40	26	18	13	10	7.1																													
Realizado por: <u>Técnico Laboratorista Junior Orozco</u> Firma: _____ Realizado por: <u>Técnico Laboratorista Maycol Zavala</u> Firma: _____ Revisado por: <u>Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez</u> Firma: _____ Observaciones: _____ _____																																							

Tabla Nº 12. Método Marshall para contenido de asfalto de 5.0%

		CONTENIDO	ASFALTO	AGREGADO							
			5.00%	95.00%							
No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	GRAVEDAD ESPECIFICA		PORCENTAJES INDIVIDUALES						
			APARENTE	BULK							
1	Asfalto	T 43	1.010		5.00						
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.775	55.30						
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.886	32.60						
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.915		7.10						
MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA			Norma: AASHTO T 209-05								
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA									
		1	2	VOLUMEN	TEORICO						
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,562.60	1,560.10	(5+6-7)	(5/VOLUMEN)						
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	8,060.30	8,060.30								
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (despues de 10 min +/- 1 min)	9,036.90	9,035.00								
				585.70	2.666						
MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166											
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA			RESULTADOS						
		1	2	3							
8	Peso de la muestra al aire	1,261.80	1,269.80	1,265.80							
9	Peso Superficial Seco	1,263.70	1,271.40	1,267.50							
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	761.10	765.20	763.10							
11	Volumen de la Briqueta	502.60	506.20	504.40							
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.822						
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta				2.666						
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.918						
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.167						
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.511	2.508	2.510	2.510						
CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)											
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA										
17	peso del agregado total=(16) x % agr. En mezcla gm					238.404					
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm					12.548					
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm					2.782					
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm					9.766					
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc					84.47					
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto,cc					9.669					
RESULTADOS											
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS						
		1	2	3							
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				3.89						
24	Vacios de aire = 100- (21) - (22).%				5.86						
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %				15.53						
26	Peso unitario = (16) x 62,4 lbs / pie cubico				156.59						
27	Factor de corrección	1.04	1.04	1.04							
28	Estabilidad medida a 140 °F. Lb	5,035.0	4,987.3	5,006.4							
29	Estabilidad corregida, lb.	5,236.4	5,186.8	5,206.6	5,209.94						
30	Escurrimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	8.00	8.00	8.00	8.00						
31	Relación Estabilidad / Flujo				11.65						
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				15.53						
33	Relación Filler / Betun (%)				1.82						
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				62.26						
35	Vacios Raices				5.86						
36	Pase 200				7.1						
Análisis Granulométrico de los Agregados											
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200	
% Pase	100	100	94	63	40	26	18	13	10	7.1	
Realizado por:	Técnico Laboratorista Junior Orozco					Firma					
Realizado por:	Técnico Laboratorista Maycol Zavala					Firma					
Revisado por:	Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez					Firma					
Observaciones:											

Tabla N° 13. Método Marshall para contenido de asfalto de 5.5%

		CONTENIDO	ASFALTO	AGREGADO	
			5.50%	94.50%	
No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	GRAVEDAD ESPECIFICA		PORCENTAJES INDIVIDUALES
			APARENTE	BULK	
1	Asfalto	T 43	1.010		5.50
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.775	54.80
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.886	32.60
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.915		7.10

MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA

Norma:

AASHTO T 209-05

No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA			
		1	2	VOLUMEN	TEORICO
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,567.40	1,569.10	(5+6-7)	(5/VOLUMEN)
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	8,060.30	8,060.30		
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (después de 10 min +/- 1 min)	9,034.30	9,035.90	593.45	2.643

MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166

No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA			RESULTADOS
		1	2	3	
8	Peso de la muestra al aire	1,273.20	1,268.20	1,270.70	
9	Peso Superficial Seco	1,274.30	1,269.40	1,271.80	
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	772.20	769.30	770.70	
11	Volumen de la Briqueta	502.10	500.10	501.10	
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.823
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta				2.643
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.917
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.158
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.536	2.536	2.536	2.536

CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)

No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA	
17	peso del agregado total = (16) x % agr. En mezcla gm	239.635
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm	13.947
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm	2.775
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm	11.172
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc	84.90
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto, cc	11.062

RESULTADOS

No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS
		1	2	3	
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				4.41
24	Vacios de aire = 100 - (21) - (22), %				4.04
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %				15.10
26	Peso unitario = (16) x 62.4 lbs / pie cubico				158.24
27	Factor de corrección	1.04	1.04	1.04	
28	Estabilidad medida a 140 °F. Lb	4,653.7	4,720.4	4,606.1	
29	Estabilidad corregida, lb.	4,839.9	4,909.2	4,790.3	4,846.47
30	Escurrecimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	10.00	9.00	10.00	9.67
31	Relación Estabilidad / Flujo				8.97
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				15.10
33	Relación Filler / Betun (%)				1.61
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				73.25
35	Vacios Raices				4.04
36	Pase 200				7.1

Análisis Granulométrico de los Agregados

Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
% Pase	100	100	94	63	40	26	18	13	10	7.1

 Realizado por: Técnico Laboratorista Junior Orozco

Firma: _____

 Realizado por: Técnico Laboratorista Maycol Zavala

Firma: _____

 Revisado por: Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez

Firma: _____

Observaciones: _____

Tabla Nº 14. Método Marshall para contenido de asfalto de 6.0%

No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	CONTENIDO		PORCENTAJES INDIVIDUALES
			ASFALTO	AGREGADO	
			6.00%	94.00%	
			GRAVEDAD ESPECIFICA	GRAVEDAD ESPECIFICA	
			APARENTE	BULK	
1	Asfalto	T 43	1.010		6.00
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.775	54.30
3	Agregado fino (-No. 8, + No. 200)	T 84		2.886	32.60
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.915		7.10

MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA					
Norma: AASHTO T 209-05					
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA			
		1	2	VOLUMEN	TEORICO
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,583.40	1,580.50	(5+6-7)	(5/VOLUMEN)
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	8,060.30	8,060.30		
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (despues de 10 min +/- 1 min)	9,037.90	9,035.80	605.40	2.613

MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166					
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA			RESULTADOS
		1	2	3	
8	Peso de la muestra al aire	1,284.60	1,278.00	1,281.30	
9	Peso Superficial Seco	1,284.80	1,278.30	1,281.50	
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	783.40	779.80	781.60	
11	Volumen de la Briqueta	501.40	498.50	499.90	
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.823
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta				2.613
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.908
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.043
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.562	2.564	2.563	2.563

CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)					
MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA					
17	peso del agregado total=(16) x % agr. En mezcla gm				240.917
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm				15.378
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm				2.512
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm				12.865
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc				85.34
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto,cc				12.738

RESULTADOS				
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA		
		1	2	3
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %			
24	Vacios de aire = 100- (21) - (22), %			
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %			
26	Peso unitario = (16) x 62,4 lbs / pie cubico			
27	Factor de corrección	1.04	1.04	1.04
28	Estabilidad medida a 140 °F . lb	4,434.5	4,501.2	4,463.1
29	Estabilidad corregida, lb.	4,611.9	4,681.3	4,641.6
30	Escurrecimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	11.00	11.00	10.00
31	Relación Estabilidad / Flujo			
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)			
33	Relación Filler / Betun (%)			
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)			
35	Vacios Raices			
36	Pase 200			

Análisis Granulométrico de los Agregados										
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
% Pase	100	100	94.1	62.8	39.7	26.3	18.4	13.4	9.9	7.1

Realizado por:	Técnico Laboratorista Junior Orozco	Firma	
Realizado por:	Técnico Laboratorista Maycol Zavala	Firma	
Revisado por:	Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez	Firma	
Observaciones:			

Tabla Nº 15. Método Marshall para contenido de asfalto de 6.5%

No.	MATERIALES	CONTENIDO	ASFALTO		AGREGADO	
			6.50%	93.50%		
1	Asfalto	T 43	1.010			6.50
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.775		53.80
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.886		32.60
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.915			7.10

MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA					
Norma: AASHTO T 209-05					
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA		VOLUMEN	TEORICO
		1	2		
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,585.30	1,579.30		
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	8,060.30	8,060.30	(5+6-7)	(5/VOLUMEN)
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (después de 10 min +/- 1 min)	9,034.60	9,030.40	610.10	2.594

MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166					
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA			RESULTADOS
		1	2	3	
8	Peso de la muestra al aire	1,285.90	1,295.80	1,290.80	
9	Peso Superficial Seco	1,285.90	1,295.80	1,290.80	
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	788.50	794.60	791.50	
11	Volumen de la Briqueta	497.40	501.20	499.30	
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.823
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta				2.594
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.911
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.077
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.585	2.585	2.585	2.585

CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)						
MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA						
No.						
17	peso del agregado total = (16) x % agr. En mezcla gm					241.724
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm					16.804
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm					2.603
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm					14.202
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc					85.62
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso específico de asfalto,cc					14.061

RESULTADOS					
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS
		1	2	3	
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				5.49
24	Vacios de aire = 100- (21) - (22), %				0.32
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %				14.38
26	Peso unitario = (16) x 62.4 lbs / pie cubico				161.32
27	Factor de corrección	1.04	1.04	1.04	
28	Estabilidad medida a 140 °F. Lb	4,110.4	4,139.0	4,129.5	
29	Estabilidad corregida, lb.	4,274.8	4,304.6	4,294.7	4,291.35
30	Escurrimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	12.00	13.00	12.00	12.33
31	Relación Estabilidad / Flujo				6.23
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				14.38
33	Relación Filler / Betun (%)				1.29
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				97.79
35	Vacios Raices				0.32
36	Pase 200				7.1

Análisis Granulométrico de los Agregados										
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
% Pase	100	100	94	63	40	26	18	13	10	7.1

Realizado por: Técnico Laboratorista Junior Orozco

Firma

Realizado por: Técnico Laboratorista Maycol Zavala

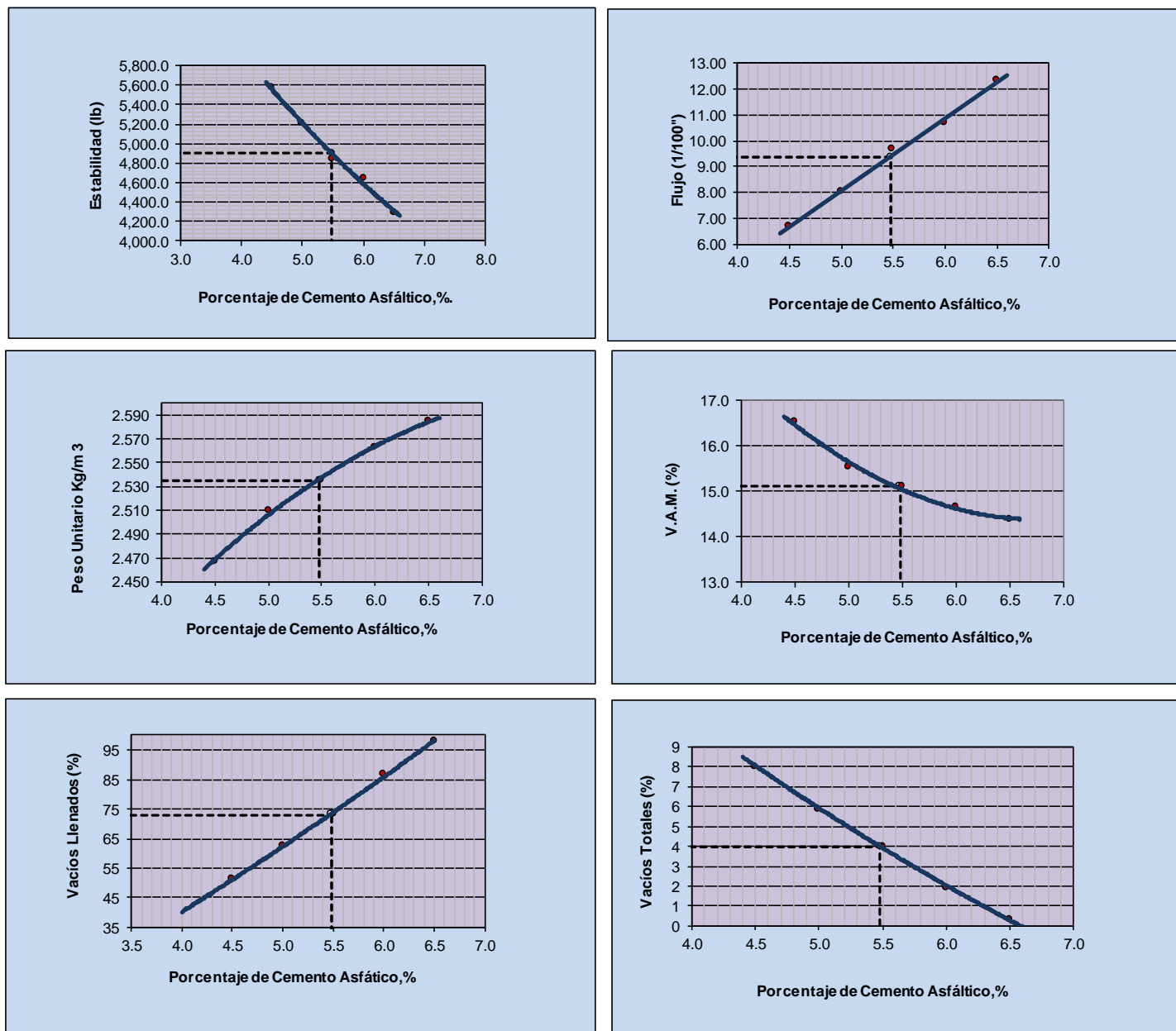
Firma

Revisado por: Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez

Firma

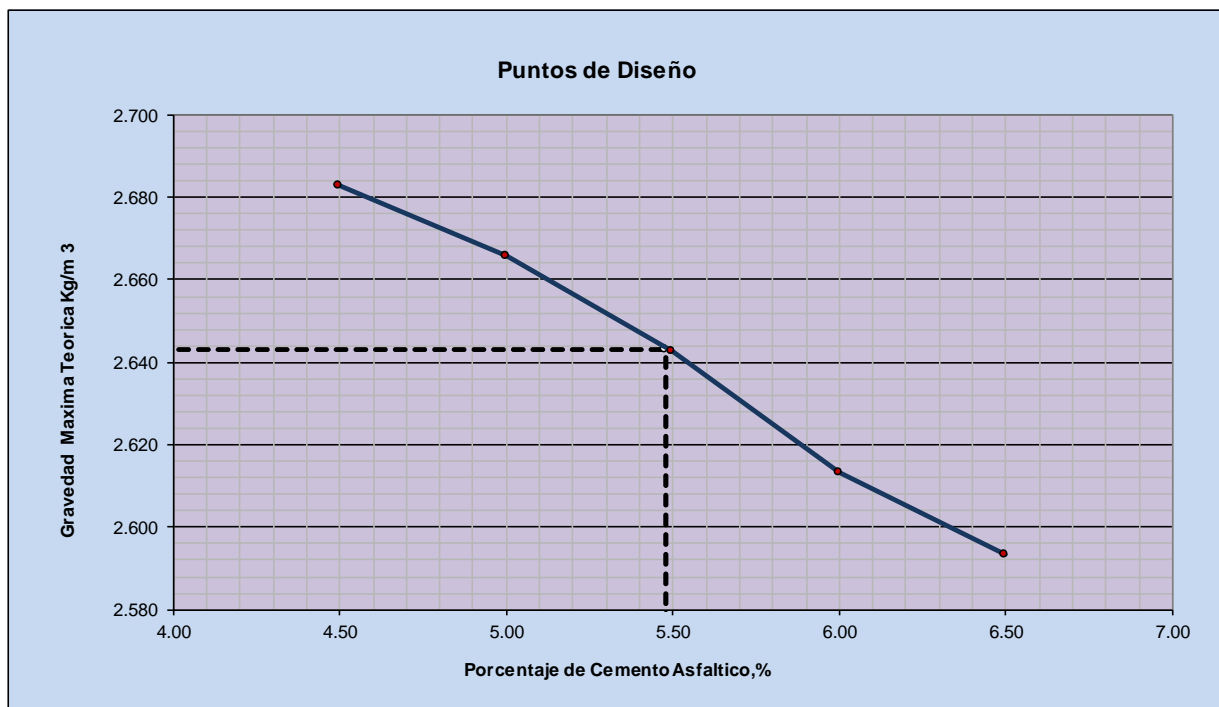
Observaciones:

Figura N° 05. Propiedades Marshall con óptimo de asfalto de 5.48%



Contenido Óptimo de Asfalto: 5.48%
Vacio Totales: 4.0 %
Estabilidad: 4,900 lb
Flujo: 9.35 mm
VAM: 15.1%
VAF: 73.0%

Figura Nº 06. Gravedad Máxima Teórica con óptimo de asfalto de 5.48%



Contenido Óptimo de Asfalto: 5.48%
Densidad Máxima Teórica: 2,643 kg/m³

Tabla Nº 16. Método Marshall para contenido de asfalto de 5.48%

		CONTENIDO	ASFALTO	AGREGADO						
			5.48%	94.52%						
No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	GRAVEDAD ESPECIFICA		PORCENTAJES INDIVIDUALES					
			APARENTE	BULK						
1	Asfalto	T 43	1.010		5.48					
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.775	54.82					
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.886	32.60					
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.915		7.10					
MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA			Norma: AASHTO T 209-05							
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA								
		1	2	VOLUMEN	TEORICO					
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,570.50	1,573.30	(5+6-7)	(5/VOLUM EN)					
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	8,060.30	8,060.30							
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (despues de 10 min +/- 1 min)	9,036.40	9,037.70	595.15	2.641					
MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166										
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA			RESULTADOS					
		1	2	3						
8	Peso de la muestra al aire	1,273.10	1,273.90	1,273.50						
9	Peso Superficial Seco	1,273.80	1,274.80	1,274.30						
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	771.80	772.40	772.10						
11	Volumen de la Briqueta	502.00	502.40	502.20						
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.823					
13	Máxima Gravedad Específica de la Mezcla Suelta				2.641					
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.914					
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.122					
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.536	2.536	2.536	2.536					
CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)										
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA									
17	peso del agregado total=(16) x % agr. En mezcla gm					239.688				
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm					13.896				
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm					2.690				
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm					11.206				
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc					84.92				
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto,cc					11.095				
RESULTADOS										
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS					
		1	2	3						
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				4.42					
24	Vacios de aire = 100- (21) - (22), %				3.99					
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %				15.08					
26	Peso unitario = (16) x 62,4 lbs / pie cubico				158.24					
27	Factor de corrección	1.04	1.04	1.04						
28	Estabilidad medida a 140 °F . Lb	4,606.1	4,653.7	4,634.6						
29	Estabilidad corregida, lb.	4,790.3	4,839.9	4,820.0	4,816.73					
30	Escurrimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	11.00	12.00	11.00	11.33					
31	Relación Estabilidad / Flujo				7.61					
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				15.08					
33	Relación Filler / Betun (%)				1.61					
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				73.56					
35	Vacios Raices				3.99					
36	Pase 200				7.1					
Análisis Granulométrico de los Agregados										
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
% Pase	100	100	94	63	40	26	18	13	10	7.1
Realizado por:	Técnico Laboratorista Junior Orozco					Firma				
Realizado por:	Técnico Laboratorista Maycol Zavala					Firma				
Revisado por:	Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez					Firma				
Observaciones:										

Los resultados solamente se refiere(n) a la(s) muestra(s) ensayada(s)
 Este informe no puede ser reproducido excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSUMA

ANEXO A - 2 - 3 : Informe diseño de Mezcla MAC-3-AC

Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC-3-AC)

BANCO LOS MILLONES, MECO

Elaborado por:



Presentado a:

Marcos Lenin Roque Mendoza

James Francisco Herrera Largaespada

CONTENIDO

1.	Introducción	3
2.	Objetivo	3
3.	Información General	3
3.1	Diseño elaborado por:	3
3.2	Fecha de Elaboración del Informe de Diseño.	3
3.3	Responsables de la elaboración del Diseño.	3
3.4	Especificación de Diseño.	3
3.5	Tipo de Mezcla	3
4.	Descripción del Ligante Asfáltico Utilizado.	3
4.1	Ligante Asfáltico	3
4.2	Fecha de muestreo del Ligante Asfáltico	3
4.3	Temperatura de la mezcla y compactación.....	4
5.	Descripción de los Agregados Utilizado.	4
5.1	Fuente de los agregados.....	4
5.2	Fecha de Muestreo de los Agregados.	4
6.	Propiedades Físicas de los Agregados.	4
6.1	Análisis de las propiedades físicas del Agregado Grueso, Tamaño máximo de 12.5 mm.....	5
6.2	Análisis de las propiedades físicas del Agregado Fino, Tamaño máximo de 9.5 mm.....	6
6.3	Análisis de las propiedades físicas del Agregado Fino, Arena Xiloá.	6
7.	Combinación de agregados para obtener la granulometría del diseño.....	6
7.1	Combinación Agregados Grueso y Fino.	6
7.2	Gravedad Específica y absorción de los agregados combinados.	7
8.	Contenido Optimo de Asfalto y Propiedades del Diseño de la Mezcla.	7
9.	Conclusiones.	8
10.	Anexos.....	9

1. Introducción

La tesis de pregrado tiene como fin revisar y analizar el método Marshall a través de la metodología racional de densificación y resistencia de geomateriales compactados (RAMCODES), es por eso que Insuma ha realizado diseño de mezcla asfáltica de acuerdo al procedimiento de diseño establecido en Método Marshall.

2. Objetivo

Realizar diseño de mezcla asfáltica en caliente, a fin de conocer el contenido de asfalto óptimo y los parámetros de la mezcla cumpliendo especificaciones tales como ASTM D 3515 y NIC-2000.

3. Información General

3.1 Diseño elaborado por:

El presente diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente, fue elaborado por el Instituto de Suelos y Materiales S,A (INSUMA).

3.2 Fecha de Elaboración del Informe de Diseño.

El presente informe se elaboró el día 09 de diciembre de 2016.

3.3 Responsables de la elaboración del Diseño.

Ing. Ervin Vilchez	Jefe de Laboratorio de INSUMA
Maycol Zavala	Técnico Laboratorista de INSUMA
Junior Orozco	Técnico Laboratorista de INSUMA

3.4 Especificación de Diseño.

El método que se utilizó para cumplimiento de la graduación de los agregados y el rango de trabajo se detallan en las especificaciones estándar para mezcla de pavimentos bituminosos mezcladas y colocadas en caliente, ASTM D 3515, tabla 1 y tabla 3

Para los parámetros de la mezcla asfáltica en caliente se utilizaron especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes, NIC-2000, Cuadro 405-1 y Cuadro 405-2.

3.5 Tipo de Mezcla

El diseño corresponde a una Mezcla Asfáltica en Caliente con agregado de tamaño máximo de 1/2", de acuerdo al procedimiento de diseño establecido en Método Marshall.

4. Descripción del Ligante Asfáltico Utilizado.

4.1 Ligante Asfáltico

El ligante asfáltico es asfalto AC-30 proveniente de la empresa UNO de Nicaragua. El peso específico del cemento Asfáltico a 60°F (15.5°C) es de 1,037 kg/m³.

4.2 Fecha de muestreo del Ligante Asfáltico

El Ligante Asfáltico fue muestreado y remitido el 28 de septiembre de 2016 por el personal de Pavinic, según Designación ASTM D 140-01.

4.3 Temperatura de la mezcla y compactación.

El ligante asfáltico se calentó a una temperatura de 160 °C para la combinación de los agregados y la mezcla se compactó a una temperatura de 148°C. Ver Figura N° 06. Curva Reologica del ligante asfáltico AC-30.

5. Descripción de los Agregados Utilizado.

5.1 Fuente de los agregados.

Los agregados son producidos mediante trituración por la Empresa MECO, localizada en Los Millones, departamento de la RAAS, cuyos materiales grava y cero son extraídos del Banco "Los Millones". La arena que se utilizó es procedente del banco de Xiloá, ubicada en el departamento de Managua.

5.2 Fecha de Muestreo de los Agregados.

Los agregados fueron muestreados por el personal de tesis de pregrado, según designación ASTM D 75 el día 05 de agosto de 2016. La Arena Xiloá fue muestreada el día 29 de septiembre de 2016.

6. Propiedades Físicas de los Agregados.

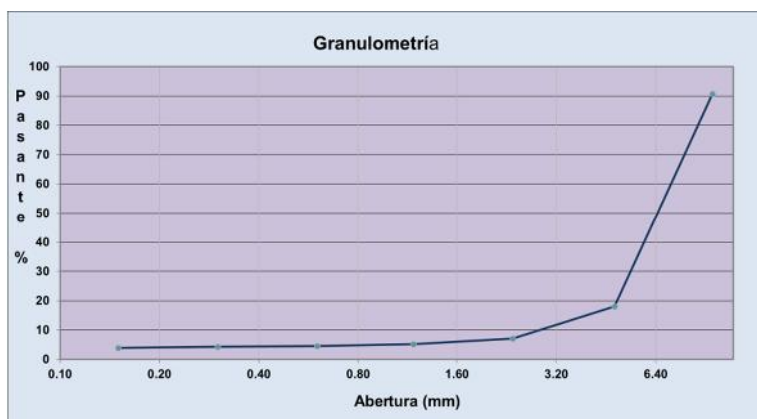
De acuerdo con las especificaciones estándar para mezcla de pavimentos bituminosos mezcladas y colocadas en calientes (ASTM D 3515), los agregados que componen el diseño de la mezcla asfáltica en caliente deben cumplir con la graduación de la tabla 1, columna D-6 (Para mezcla de graduación densa) y la formula de trabajo debe cumplir con las tolerancias de la tabla 3.

Para establecer la granulometría de diseño, se partió del análisis granulométrico de los agregados por separado, al obtener el análisis individual de los agregados se estableció los porcentajes del grueso y el fino que componen la graduación del diseño. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla N° 01. Granulometría del agregado grueso (Tamaño máximo de 12.5 mm), ASTM C-136

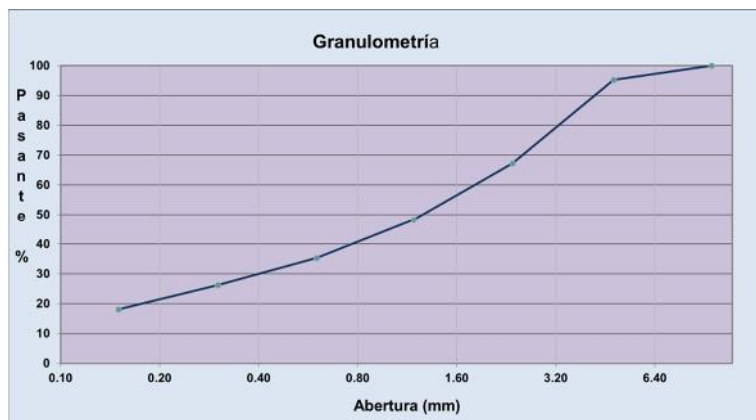
Tamiz		Material que pasa (%)
N°	mm	
1/2"	12.5	100
3/8"	9.5	91
Nº4	4.75	18
Nº8	2.36	7.1
Nº 16	1.18	5.2
Nº 30	0.60	4.6
Nº 50	0.30	4.3
Nº 100	0.15	4.0
Nº 200	0.075	3.5

Figura N° 01. Granulometría del agregado grueso (Tamaño máximo de 12.5 mm), ASTM C-136

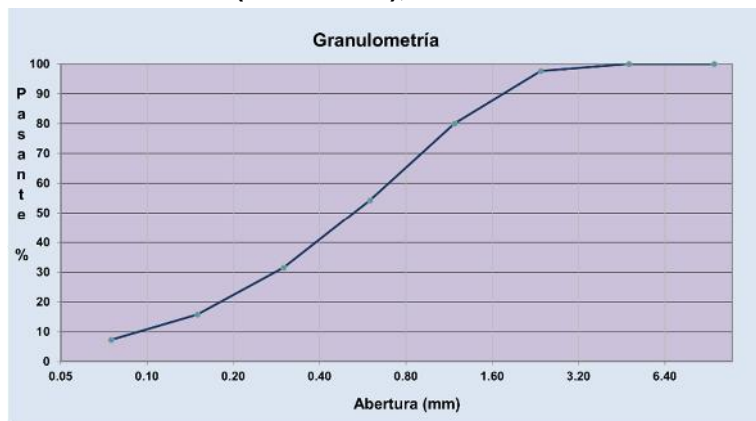


**Tabla Nº 02. Granulometría del agregado fino
(Tamaño máximo de 9.5 mm), ASTM C-136**

Tamiz		Material que pasa (%)
Nº	mm	
1/2"	12.5	100
3/8"	9.5	100
Nº4	4.75	95
Nº8	2.36	67
Nº 16	1.18	48
Nº 30	0.60	35
Nº 50	0.30	26
Nº 100	0.15	18
Nº 200	0.075	13

**Figura Nº 02. Granulometría del agregado fino
(Tamaño máximo de 9.5 mm), ASTM C-136**

**Tabla Nº 03. Granulometría del agregado fino
(Arena Xiloá), ASTM C-136**

Tamiz		Material que pasa (%)
Nº	mm	
1/2"	12.5	100
3/8"	9.5	100
Nº4	4.75	98
Nº8	2.36	80
Nº 16	1.18	54
Nº 30	0.60	31
Nº 50	0.30	16
Nº 100	0.15	7.3
Nº 200	0.075	4.6

**Figura Nº 03. Granulometría del agregado fino
(Arena Xiloá), ASTM C-136**


6.1 Análisis de las propiedades físicas del Agregado Grueso, Tamaño máximo de 12.5 mm

Tabla Nº 04. Propiedades físicas del Agregado Grueso

Descripción del Ensayo	Método	Resultado	Unidades
Peso Volumetricos secos sueltos	ASTM C 29	1409	kg/m ³
Peso Volumetricos secos varillados	ASTM C 29	1568	kg/m ³
Gravedad Especifica (s)	ASTM C 127	2.629	kg/m ³
Absorción	ASTM C 127	2.4	%
Degaste de los angeles	ASTM C 131	20.9	%

6.2 Análisis de las propiedades físicas del Agregado Fino, Tamaño máximo de 9.5 mm

Tabla N° 05. Propiedades físicas del Agregado Fino

Descripción del Ensayo	Estandar	Resultado	Unidades
Equivalente de Arena, %	ASTM D-2419	74	%
Peso Volumetricos secos sueltos	ASTM C 29	1601	kg/m ³
Peso Volumetricos secos varillados	ASTM C 29	1877	kg/m ³
Gravedad Especifica (s)	ASTM C 128	2.690	kg/m ³
Absorción	ASTM C 128	1.8	%

6.3 Análisis de las propiedades físicas del Agregado Fino, Arena Xiloá.

Tabla N° 06. Propiedades físicas de Arena Xiloá

Descripción del Ensayo	Estandar	Resultado	Unidades
Equivalente de Arena	ASTM D-2419	66	%
Indice de plasticidad	ASTM D-4318	NP	%
Peso Volumetricos secos sueltos	ASTM C 29	1463	kg/m ³
Peso Volumetricos secos varillados	ASTM C 29	1595	kg/m ³
Gravedad Especifica (s)	ASTM C 128	2.327	kg/m ³
Absorción	ASTM C 128	5.49	%

7. Combinación de agregados para obtener la granulometría del diseño.

7.1 Combinación Agregados Grueso y Fino.

Para cumplir con la especificación ASTM D 3515 Tabla 1, columna D-6, la granulometría del diseño se evaluó de la siguiente combinación de agregados:

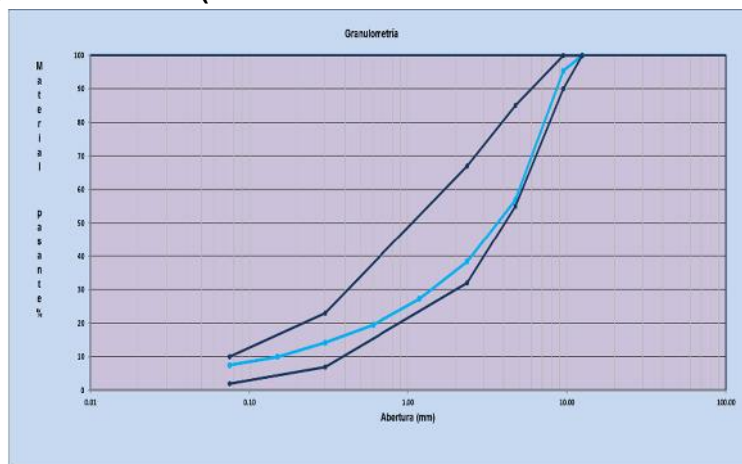
Tabla N° 07. Combinación de Agregados

Descripción	Tamaño Maximo	Porcentaje
Agregado Grueso	12,5 mm	50 %
Agregado Fino	9,5 mm	40 %
Arena Xiloá	9,5 mm	10 %

Los agregados combinados presentados en el Tabla N° 07 cumplen con la granulometría de la especificación ASTM D 3515, Tabla 1, Columna D-6, como se muestra a continuación:

Tabla N° 08. Granulometría de los agregados combinados (50% Grueso – 40% Fino – 10% Arena Xiloá)

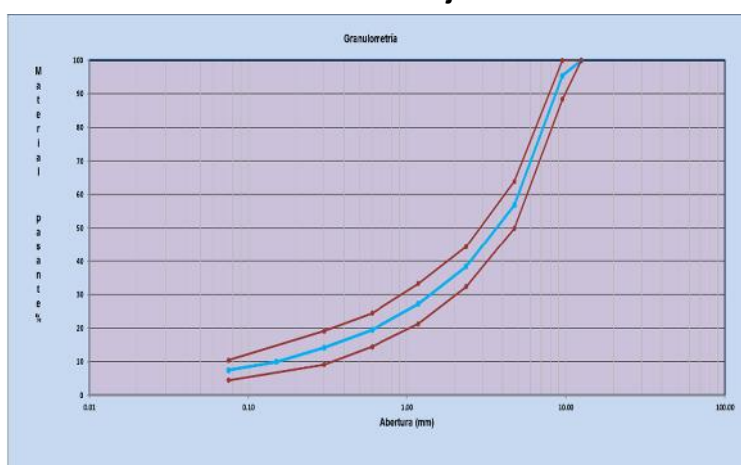
Tamiz		Material que pasa (%)	ASTM D 3515 Tabla 1, Columna D-6
N°	mm		
1/2"	12.5	100	100
3/8"	9.5	95	90-100
Nº4	4.75	57	55-85
Nº8	2.36	38	32-67
Nº 16	1.18	27	-
Nº 30	0.60	20	-
Nº 50	0.30	14	7-23
Nº 100	0.15	10	-
Nº 200	0.075	7.5	2-10

Figura N° 04. Granulometría de los agregados combinados (50% Grueso – 40% Fino – 10% Arena Xiloá)


Los límites de acción, que controlan la uniformidad de la producción de la mezcla asfáltica, están tomados de la especificación ASTM D 3515, Tabla 3, los cuales indican los siguientes valores para cada tamiz de control:

Tabla N° 09. Curva granulométrica con fórmulas de trabajo.

Tamiz		Granulometría de Diseño (%)	ASTM D 3515 Tabla 3	
N°	mm		Min. (%)	Máx.(%)
1/2"	12.5	100	100.0	100.0
3/8"	9.5	95	100.0	88.4
Nº4	4.75	57	63.9	49.9
Nº8	2.36	38	44.4	32.4
Nº 16	1.18	27	33.3	21.3
Nº 30	0.60	20	24.5	14.5
Nº 50	0.30	14	19.2	9.2
Nº 100	0.15	10	-	-
Nº 200	0.075	7.5	10.5	4.5

Figura N° 05. Curva granulométrica con fórmulas de trabajo.


7.2 Gravedad Específica y absorción de los agregados combinados.

Tabla N° 10. Gravedad Específica de agregados combinados

Descripción	Unidad	Agregado Grueso	Agregado Fino + Arena Xiloá	Filler del Agregado Fino + Arena Xiloá	Agregados combinados
Gravedad Específica (s)	kg/m ³	2.574	2.592	2.683	2.587
Absorción, %	%	2.26	2.84	-	2.55

8. Contenido Optimo de Asfalto y Propiedades del Diseño de la Mezcla.

A partir del análisis de las propiedades de los especímenes de mezcla asfáltica en caliente, preparados de acuerdo con la fórmula de trabajo y con diferentes contenidos de asfalto Ver anexo (Pág. 11-14), utilizando el Método de Diseño Marshall, se ha determinado que el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla es de 6.20 % para obtener un porcentaje de vacíos con aire de 4.0 % en la mezcla compactada al 148 °C.

Para las propiedades que se presentan en la tabla N° 11 se trabajó con las especificaciones NIC-2000 Cuadro 405-1 y Cuadro 405-2.

Tabla N° 11. Propiedades del diseño de la mezcla

Propiedades	Resultados de Diseño	Unidades	Especificación NIC-2000 Cuadro 405-1 y Cuadro 405-2
Optimo de Asfalto	6.2	%	-
Nº de Golpes	75	-	75
Temperatura de Mezclado	160	°C	-
Temperatura de Compactación	148	°C	-
Estabilidad	3,940	lb	Mínimo 1800
Flujo	11.9	mm	8-14
Vacios Totales	4.00	%	3-5
V.A.M	15.30	%	Mínimo 15
V.A.F	72.6	%	65-75
D.M.T	2.436	kg/m ³	-
Relación Polvo/Asfalto	1.21	%	0.6 - 1.3

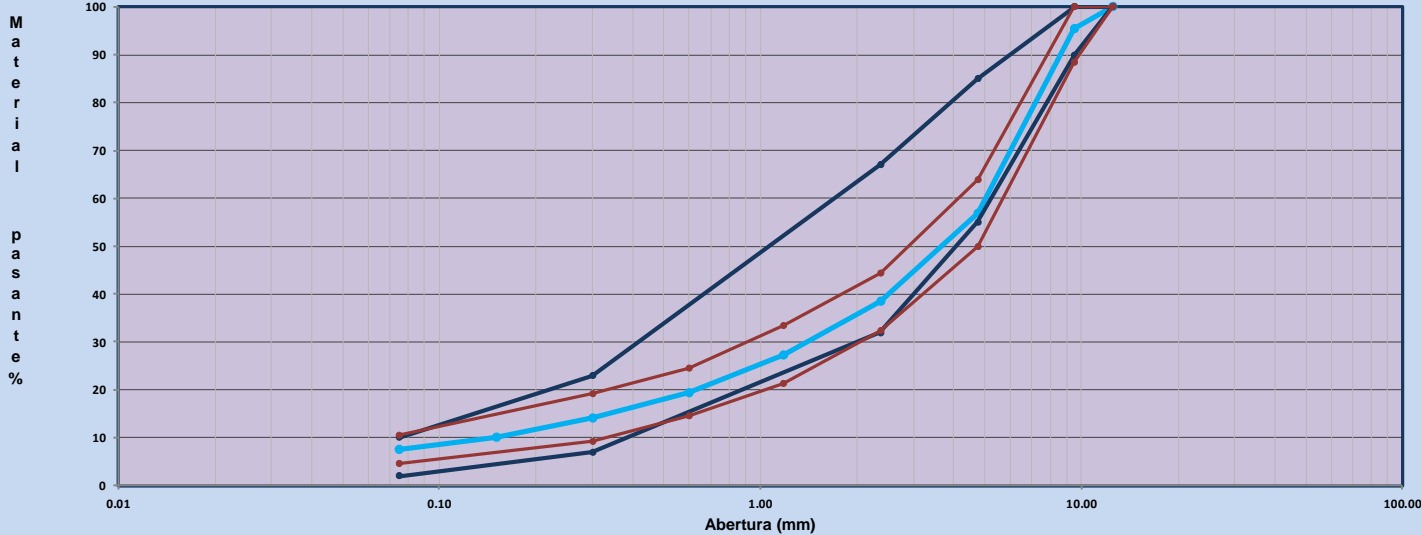
9. Conclusiones.

Para el presente diseño de mezcla asfáltica en caliente realizado con materiales procedente del banco Los Millones y Arena Xiloá, el porcentaje óptimo de asfalto determinado es de 6.20% de asfalto sobre el peso total de la mezcla, utilizando la combinación de agregados de 50% Agregado grueso (12.5 mm) – 40% Agregado Fino (9.5 mm) – 10% Arena Xiloá, que cumple con la graduación de la tabla 1, columna D-6 del ASTM D 3515.

10. Anexos.
Tabla Nº 12. Granulometría de los agregados Combinados (50% Agregado de 1/2" – 40% Agregado 1/4" – 10% Arena Xiloá)

Granulometría de los Agregados por Separado											
Tamaño máximo de los agregados			1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
Agregado 1/2"			100.0	90.8	18.0	7.1	5.2	4.6	4.3	4.0	3.5
Agregado 1/4"			100.0	100.0	95.3	67.2	48.3	35.3	26.3	18.1	12.9
Arena Xiloá			100.0	100.0	97.7	80.1	54.3	31.5	15.8	7.3	4.6
Granulometría de los Agregados Combinados											
Agregados utilizados	Porcentaje de Participación		1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
Agregado 1/2"	50		50.0	45.4	9.0	3.5	2.6	2.3	2.1	2.0	1.8
Agregado 1/4"	40		40.0	40.0	38.1	26.9	19.3	14.1	10.5	7.3	5.2
Arena Xiloá	10		10.0	10.0	9.8	8.0	5.4	3.1	1.6	0.7	0.5
Datos de Diseño (Rango de Trabajo), Especificación ASTM D 3515, Tabla 3											
Curva de Diseño			100	95.4	56.9	38.4	27.3	19.5	14.2	10.0	7.50
Tolerancia Superior	100		100	100	63.9	44.4	33.3	24.5	19.2	-	10.5
Tolerancia Inferior			100	88.4	49.9	32.4	21.3	14.5	9.2	-	4.5
Especificación ASTM D 3515, Tabla 1, Columna D-6											
Especificación Superior			100	100	85	67	-	-	23	-	10
Especificación Inferior			100	90	55	32	-	-	7	-	2

Granulometría



Realizado por:	Técnico Laboratorista Junior Orozco	Firma	_____
Realizado por:	Técnico Laboratorista Maycol Zavala	Firma	_____
Revisado por:	Jefe de Laboratorio, Ing. Ervin Vilchez	Firma	_____
Observaciones:	_____		

Figura N° 06. Curva Reologica del ligante asfaltico AC-30.



MUESTRA: 16092701

TEMPERATURA DE COMPACTACION: 146 - 150
156 - 161

FECHA: 27-sep-16

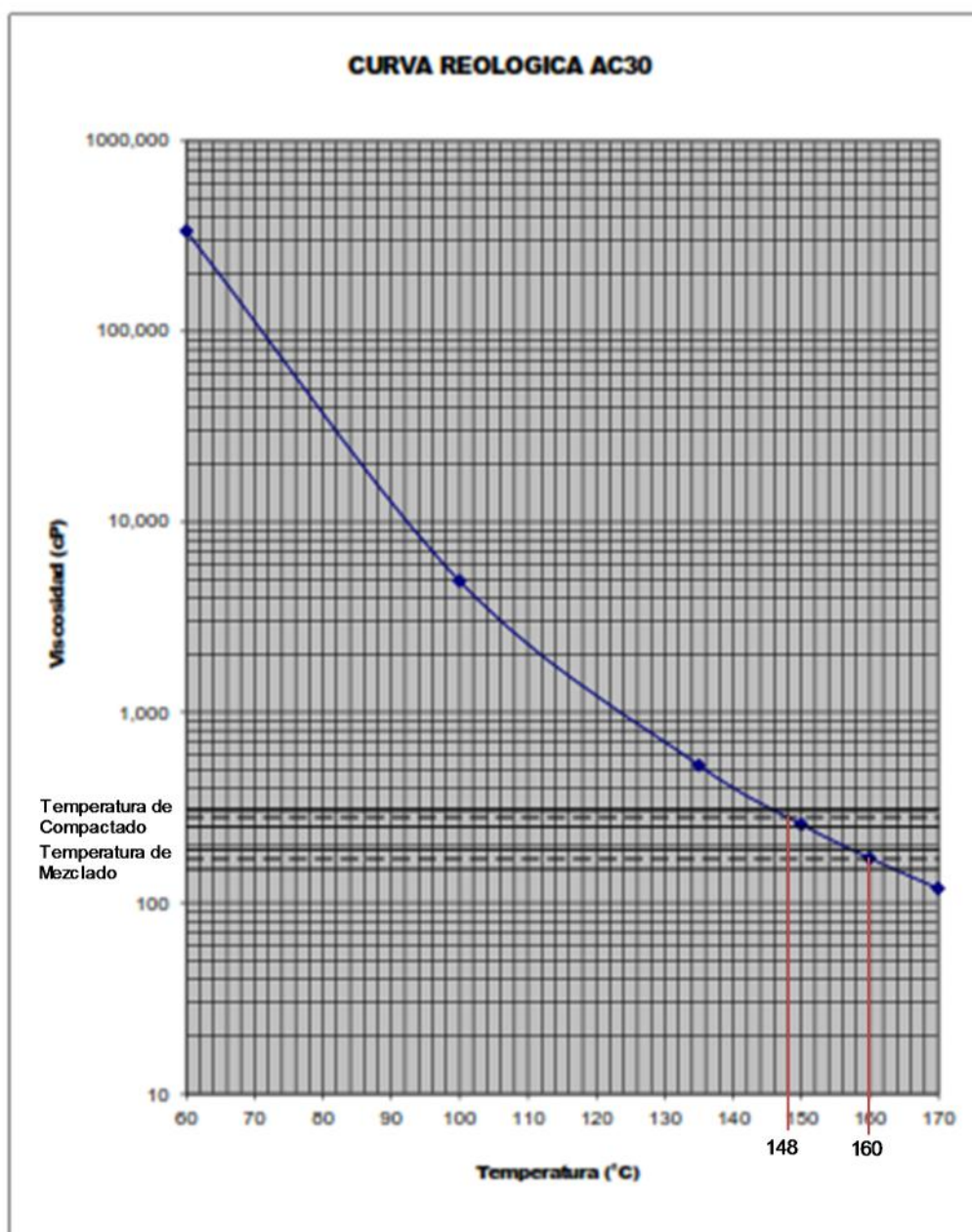


Tabla Nº 13. Método Marshall para contenido de asfalto de 5.5%

		CONTENIDO	ASFALTO	AGREGADO							
			5.50%	94.50%							
No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	GRAVEDAD ESPECIFICA		PORCENTAJES INDIVIDUALES						
			APARENTE	BULK							
1	Asfalto	T 43	1.037		5.50						
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.574	56.10						
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.592	30.90						
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.683		7.50						
MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA			Norma: AASHTO T 209-05								
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO		MUESTRA								
			1	2	VOLUMEN	TEORICO					
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)		1,610.80	1,612.80	(5+6-7)	(5/VOLUMEN)					
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)		8,062.00	8,062.00							
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (despues de 10 min +/- 1 min)		9,019.50	9,020.70	653.70	2.466					
MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166											
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO		NUMERO DE PRUEBA								
			1	2	3	RESULTADOS					
8	Peso de la muestra al aire		1,148.70	1,151.80	1,150.30						
9	Peso Superficial Seco		1,151.90	1,154.10	1,153.00						
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm		655.20	655.30	655.00						
11	Volumen de la Briqueta		496.70	498.80	498.00						
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados					2.588					
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta					2.466					
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado					2.681					
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)					1.381					
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada		2.313	2.309	2.310	2.311					
CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)											
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA										
17	peso del agregado total=(16) x % agr. En mezcla gm					218.347					
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm					12.708					
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm					3.015					
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm					9.693					
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc					84.36					
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto,cc					9.348					
RESULTADOS											
No.	RESULTADOS FINALES		NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS					
			1	2	3						
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %					4.20					
24	Vacios de aire = 100- (21) - (22), %					6.29					
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %					15.64					
26	Peso unitario = (16) x 62,4 lbs / pie cubico					144.18					
27	Factor de corrección		1.04	1.04	1.04						
28	Estabilidad medida a 140 °F . Lb		4,320.1	4,425.0	4,367.8						
29	Estabilidad corregida, lb.		4,492.9	4,602.0	4,542.5	4,545.78					
30	Escurrimiento o (flujo) 0,01 pulgadas		10.00	10.00	10.00	10.00					
31	Relación Estabilidad / Flujo					8.13					
32	Vacío de Agregado Mineral (V.M.A.)					15.64					
33	Relación Filler / Betun (%)					1.79					
34	Vacío Rellenos con Asfalto (V.F.A.)					59.77					
35	Vacíos Raíces					6.29					
36	Pase 200					7.5					
Análisis Granulométrico de los Agregados											
	Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
	% Pase	100	100	95	57	38	27	20	14	10	7.5
Realizado por: Técnico Laboratorista Junior Orozco							Firma				
Realizado por: Técnico Laboratorista Maycol Zavala							Firma				
Revisado por: Jefe de Laboratorio. Ing.Ervin Vilchez							Firma				
Observaciones:											

Tabla Nº 14. Método Marshall para contenido de asfalto de 6.0%

No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	CONTENIDO		PORCENTAJES INDIVIDUALES																																	
			ASFALTO 6.00%	AGREGADO 94.00%																																		
1	Asfalto	T 43	1.037		6.00																																	
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.574	55.60																																	
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.592	30.90																																	
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.683		7.50																																	
MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA																																						
Norma: AASHTO T 209-05																																						
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA			TEORICO																																	
		1	2	VOLUMEN																																		
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,614.00	1,613.70	(5+6-7)	(5/VOLUMEN)																																	
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	8,062.00	8,062.00																																			
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (después de 10 min +/- 1 min)	9,015.40	9,015.10			660.60	2.443																															
MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166																																						
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA			RESULTADOS																																	
		1	2	3																																		
8	Peso de la muestra al aire	1,159.60	1,163.00	1,161.30	2.588																																	
9	Peso Superficial Seco	1,160.90	1,164.50	1,162.50																																		
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	662.40	664.00	663.00																																		
11	Volumen de la Briqueta	498.50	500.50	499.50	2.443																																	
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados																																					
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta																																					
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.674																																	
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.291																																	
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.326	2.324	2.325	2.325																																	
CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)																																						
MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA																																						
17	peso del agregado total = (16) x % agr. En mezcla gm				218.543																																	
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm				13.950																																	
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm				2.821																																	
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm				11.129																																	
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc				84.44																																	
22	Vol. De asfalto efectivo = (20) / peso específico de asfalto, cc				10.732																																	
RESULTADOS																																						
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS																																	
		1	2	3																																		
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				4.79																																	
24	Vacios de aire = 100- (21) - (22), %				4.83																																	
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %				15.56																																	
26	Peso unitario = (16) x 62.4 lbs / pie cubico				145.08																																	
27	Factor de corrección	1.04	1.04	1.04																																		
28	Estabilidad medida a 140 °F . lb	4,177.1	4,119.9	4,148.5																																		
29	Estabilidad corregida, lb.	4,344.2	4,284.7	4,314.5	4,314.48																																	
30	Escurrecimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	11.00	12.00	11.00	11.33																																	
31	Relación Estabilidad / Flujo				6.81																																	
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				15.56																																	
33	Relación Filler / Betun (%)				1.57																																	
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				68.95																																	
35	Vacios Raices				4.83																																	
36	Pase 200				7.5																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="11">Análisis Granulométrico de los Agregados</th> </tr> <tr> <th>Tamiz</th> <th>3/4"</th> <th>1/2"</th> <th>3/8"</th> <th>No. 4</th> <th>No. 8</th> <th>No. 16</th> <th>No. 30</th> <th>No. 50</th> <th>No. 100</th> <th>No. 200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Pase</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>95</td> <td>57</td> <td>38</td> <td>27</td> <td>20</td> <td>14</td> <td>10</td> <td>7.5</td> </tr> </tbody> </table>						Análisis Granulométrico de los Agregados											Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200	% Pase	100	100	95	57	38	27	20	14	10	7.5
Análisis Granulométrico de los Agregados																																						
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200																												
% Pase	100	100	95	57	38	27	20	14	10	7.5																												
Realizado por: <u>Técnico Laboratorista Junior Orozco</u> Firma: _____ Realizado por: <u>Técnico Laboratorista Maycol Zavala</u> Firma: _____ Revisado por: <u>Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez</u> Firma: _____ Observaciones: _____ _____																																						

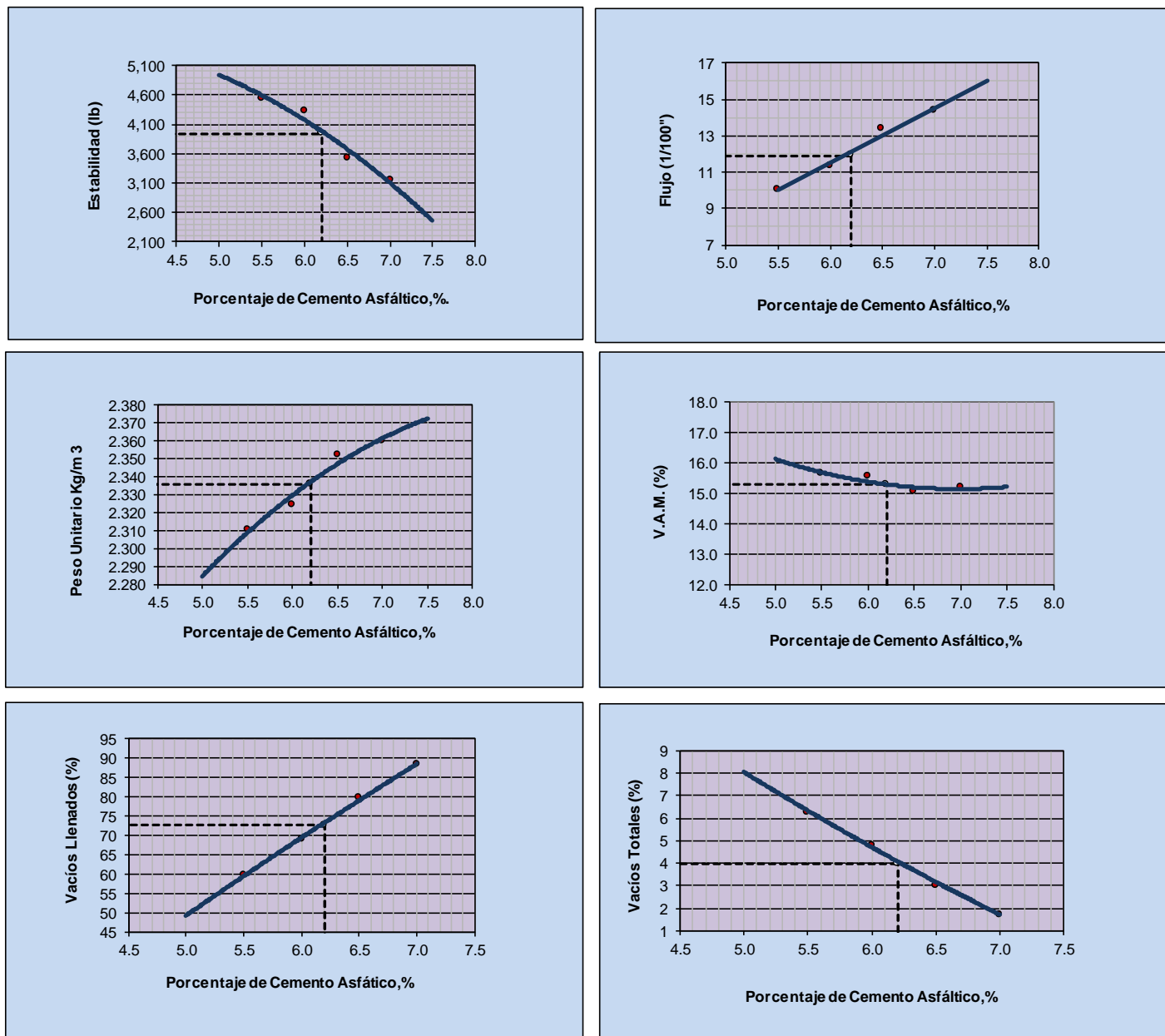
Tabla Nº 15. Método Marshall para contenido de asfalto de 6.5%

		CONTENIDO	ASFALTO	AGREGADO							
			6.50%	93.50%							
No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	GRAVEDAD ESPECIFICA		PORCENTAJES INDIVIDUALES						
			APARENTE	BULK							
1	Asfalto	T 43	1.037		6.50						
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.574	55.10						
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.592	30.90						
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.683		7.50						
MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA			Norma: AASHTO T 209-05								
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA									
		1	2	VOLUMEN	TEORICO						
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,626.50	1,628.70	(5+6-7)	(5/VOLUMEN)						
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	8,062.00	8,062.00								
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (despues de 10 min +/- 1 min)	9,018.00	9,019.40	670.90	2.426						
MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166											
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA			RESULTADOS						
		1	2	3							
8	Peso de la muestra al aire	1,165.50	1,165.90	1,169.40							
9	Peso Superficial Seco	1,166.10	1,166.40	1,170.00							
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	670.40	670.60	673.10							
11	Volumen de la Briqueta	495.70	495.80	496.90							
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.588						
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta				2.426						
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.675						
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.299						
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.351	2.352	2.353	2.352						
CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)											
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA										
17	peso del agregado total=(16) x % agr. En mezcla gm					219.917					
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm					15.288					
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm					2.856					
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm					12.432					
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc					84.96					
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto,cc					11.989					
RESULTADOS											
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS						
		1	2	3							
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				5.29						
24	Vacios de aire = 100- (21) - (22), %				3.05						
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %				15.04						
26	Peso unitario = (16) x 62,4 lbs / pie cubico				146.77						
27	Factor de corrección	1.04	1.04	1.04							
28	Estabilidad medida a 140 °F . Lb	3,271.6	3,224.0	3,700.6							
29	Estabilidad corregida, lb.	3,402.5	3,352.9	3,848.6	3,534.67						
30	Escurrimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	13.00	14.00	13.00	13.33						
31	Relación Estabilidad / Flujo				4.74						
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				15.04						
33	Relación Filler / Betun (%)				1.42						
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				79.73						
35	Vacios Raices				3.05						
36	Pase 200				7.5						
Análisis Granulométrico de los Agregados											
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200	
% Pase	100	100	95	57	38	27	20	14	10	7.5	
Realizado por:		Técnico Laboratorista Junior Orozco				Firma					
Realizado por:		Técnico Laboratorista Maycol Zavala				Firma					
Revisado por:		Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez				Firma					
Observaciones:											

Tabla Nº 16. Método Marshall para contenido de asfalto de 7.0%

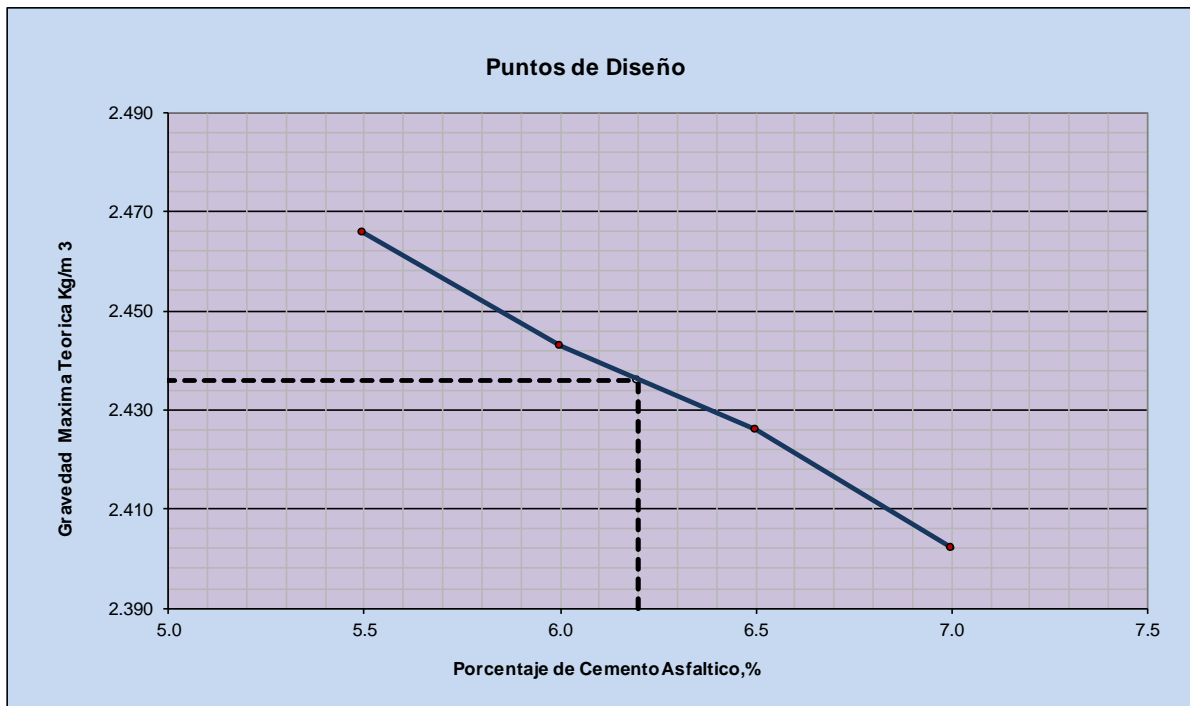
No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	CONTENIDO		PORCENTAJES INDIVIDUALES																																				
			ASFALTO 7.00%	AGREGADO 93.00%																																					
			GRAVEDAD ESPECIFICA																																						
			APARENTE	BULK																																					
1	Asfalto	T 43	1.037		7.00																																				
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.574	54.60																																				
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.592	30.90																																				
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.683		7.50																																				
MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA																																									
			Norma: AASHTO T 209-05																																						
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO		MUESTRA																																						
			1	2	VOLUMEN (5+6-7)																																				
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)		1,632.00	1,630.00																																					
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)		8,062.00	8,062.00																																					
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (después de 10 min +/- 1 min)		9,014.10	9,014.00	678.95																																				
MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166																																									
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO		NUMERO DE PRUEBA																																						
			1	2	3																																				
8	Peso de la muestra al aire		1,172.20	1,168.90	1,170.60																																				
9	Peso Superficial Seco		1,172.40	1,169.00	1,170.90																																				
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm		676.00	674.00	674.20																																				
11	Volumen de la Briqueta		496.40	495.00	496.70																																				
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.588																																				
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta				2.402																																				
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.666																																				
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.172																																				
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada		2.361	2.361	2.357																																				
CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)																																									
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA																																								
17	peso del agregado total = (16) x % agr. En mezcla gm				219.467																																				
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm				16.519																																				
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm				2.572																																				
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm				13.947																																				
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc				84.79																																				
22	Vol.. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto,cc				13.449																																				
RESULTADOS																																									
No.	RESULTADOS FINALES		NUMERO DE LA MUESTRA		PROMEDIOS																																				
			1	2	3																																				
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				5.91																																				
24	Vacíos de aire = 100 - (21) - (22), %				1.76																																				
25	Vacíos de agregado Mineral = 100 - (21), %				15.21																																				
26	Peso unitario = (16) x 62.4 lbs / pie cubico				147.26																																				
27	Factor de corrección		1.04	1.04	1.04																																				
28	Estabilidad medida a 140 °F . Lb		3,071.5	2,985.7	3,033.3																																				
29	Estabilidad corregida, lb.		3,194.3	3,105.1	3,154.7																																				
30	Escurrimiento o (flujo) 0,01 pulgadas		14.00	15.00	14.00																																				
31	Relación Estabilidad / Flujo				3.93																																				
32	Vacío de Agregado Mineral (V.M.A.)				15.21																																				
33	Relación Filler / Betun (%)				1.27																																				
34	Vacío Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				88.40																																				
35	Vacíos Raíces				1.76																																				
36	Pase 200				7.5																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="12">Análisis Granulométrico de los Agregados</th> </tr> <tr> <th>Tamiz</th> <th>3/4"</th> <th>1/2"</th> <th>3/8"</th> <th>No. 4</th> <th>No. 8</th> <th>No. 16</th> <th>No. 30</th> <th>No. 50</th> <th>No. 100</th> <th>No. 200</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Pase</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>95</td> <td>57</td> <td>38</td> <td>27</td> <td>20</td> <td>14</td> <td>10</td> <td>7.5</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Análisis Granulométrico de los Agregados												Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200		% Pase	100	100	95	57	38	27	20	14	10	7.5	
Análisis Granulométrico de los Agregados																																									
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200																															
% Pase	100	100	95	57	38	27	20	14	10	7.5																															
Realizado por: <u>Técnico Laboratorista Junior Orozco</u> Firma: _____ Realizado por: <u>Técnico Laboratorista Maycol Zavala</u> Firma: _____ Revisado por: <u>Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez</u> Firma: _____ Observaciones: _____ _____ _____																																									

Figura N° 07. Propiedades Marshall con óptimo de asfalto de 6.20%



Contenido Óptimo de Asfalto: 6.20%
Vacio Totales: 4.0 %
Estabilidad: 3,940 lb
Flujo: 11.9 mm
VAM: 15.3%
VAF: 72.6%

Figura N° 08. Gravedad Máxima Teórica con óptimo de asfalto de 6.20%



Contenido Óptimo de Asfalto: 6.20%
Densidad Máxima Teórica: 2,436 kg/m³

Tabla N° 17. Método Marshall para contenido de asfalto de 6.20%

No.	MATERIALES	NORMA AASHTO	CONTENIDO		PORCENTAJES INDIVIDUALES
			ASFALTO 6.20%	AGREGADO 93.80%	
1	Asfalto	T 43	1.037		6.20
2	Agregado grueso (+No. 8)	T 85		2.574	55.40
3	Agregado fino (-No.8, + No. 200)	T 84		2.592	30.90
4	Polvo mineral (-200)	T 100	2.683		7.50

MEDIDA DEL GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA					
Norma: AASHTO T 209-05					
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO TEORICO	MUESTRA		VOLUMEN	TEORICO
		1	2		
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire (g)	1,626.10	1,629.60	(5+6-7)	(5/VOLUMEN)
6	Peso neto del picnómetro sumergido (g)	8,062.00	8,062.00		
7	Peso neto del picnómetro + la muestra sumergida (después de 10 min +/- 1 min)	9,019.50	9,021.00		
				669.60	2.431

MEDIDA DEL PESO ESPECIFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166					
No.	TIPO DE MEDIDA DE PESO ESPECIFICO MASIVO	NUMERO DE PRUEBA			RESULTADOS
		1	2	3	
8	Peso de la muestra al aire	1,164.70	1,164.40	1,164.60	
9	Peso Superficial Seco	1,165.70	1,164.90	1,165.30	
10	Peso de la muestra revestida de parafina o en agua, gm	668.20	668.90	668.10	
11	Volumen de la Briqueta	497.50	497.00	497.20	
12	Gravedad Especifica Bulk de la suma de Agregados				2.588
13	Máxima Gravedad Especifica de la Mezcla Suelta				2.431
14	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado				2.668
15	Asfalto absorbido (lb/100lb. de agregado seco)				1.199
16	Gravedad Especifica Bulk de la Mezcla Compactada	2.341	2.343	2.342	2.342

CALCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)		
No.	MEDIDAS DE PESO Y VOLUMENES BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA	
17	peso del agregado total = (16) x % agr. En mezcla gm	219.688
18	Peso del asfalto total = (16) x % asfalto en mezcla, gm	14.521
19	Peso de asfalto absorbido = (15) x (17) / 100 gm	2.634
20	Peso del asfalto efectivo = (18) - (19) gm	11.887
21	Volumen del agregado total = (17) / (12). Cc	84.88
22	Vol. De asfalto efectivo = (20) / peso especifico de asfalto,cc	11.463

RESULTADOS					
No.	RESULTADOS FINALES	NUMERO DE LA MUESTRA			PROMEDIOS
		1	2	3	
23	Contenido efectivo de asfalto = (1) - ((15) x (2+3+4)), %				5.08
24	Vacios de aire = 100 - (21) - (22), %				3.66
25	Vacios de agregado Mineral = 100 - (21), %				15.12
26	Peso unitario = (16) x 62.4 lbs / pie cubico				146.15
27	Factor de corrección	1.04	1.04	1.04	
28	Estabilidad medida a 140 °F . Lb	3,509.9	3,567.1	3,538.5	
29	Estabilidad corregida, lb.	3,650.3	3,709.8	3,680.1	3,680.05
30	Escurrecimiento o (flujo) 0,01 pulgadas	13.00	12.00	12.00	12.33
31	Relación Estabilidad / Flujo				5.34
32	Vacio de Agregado Mineral (V.M.A.)				15.12
33	Relación Filler / Betun (%)				1.48
34	Vacio Rellenos con Asfalto (V.F.A.)				75.80
35	Vacios Raices				3.66
36	Pase 200				7.5

Análisis Granulométrico de los Agregados										
Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
% Pase	100	100	95	57	38	27	20	14	10	7.5

Realizado por: Técnico Laboratorista Junior Orozco

Firma

Realizado por: Técnico Laboratorista Maycol Zavala

Firma


Revisado por: Jefe de Laboratorio. Ing. Ervin Vilchez

Firma

Observaciones:

Los resultados solamente se refiere(n) a la(s) muestra(s) ensayada(s)
 Este informe no puede ser reproducido excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSUMA

ANEXO A - 3 : Proforma de Diseño de Mezcla Asfáltica por el Método Marshall

	Proforma	
	Revisión: 0	Código: INPR14-FR-02

Fecha de Solicitud: <p>6 de marzo de 2017</p>	Cliente: <p>Master Construction</p>	Dirigido a: <p>Ing. James Herrera</p>
Proyecto: <p>Investigación Diseño Mezcla Asfáltica</p>		Ubicación: <p>Managua</p>

Item	Cantidad	Descripcion	Precio Unitario	Total
1	2	Granulometría de agregados y material cero	\$8.00	\$16.00
2	3	Gravedad específica	\$20.00	\$60.00
3	1	Desgaste de los Angeles	\$40.00	\$40.00
4	1	Intemperismo	\$60.00	\$60.00
5	1	Equivalente de arena	\$30.00	\$30.00
6	2	Indice de durabilidad	\$35.00	\$70.00
7	5	Contenido de asfalto	\$70.00	\$350.00
8	12	Gravedad Máxima Teórica	\$25.00	\$300.00
9	12	Gravedad específica bulk de mezcla compactada	\$20.00	\$240.00
10	12	Estabilidad y flujo marshall	\$25.00	\$300.00
11	1	Informe	\$100.00	\$100.00
Nota: las cantidades son las mínimas que se hacen en el laboratorio para obtener el diseño.			Sub-Total	\$1,566.00
			IVA 15%	\$234.90
			Gran Total	\$1,800.90

<p>_____</p> <p>Aprobacion del Cliente</p>	<p>_____</p> <p>Ing. Carlos Montiel Gerente General</p>
--	---

RUC No. J0310000013047
 Telefono: 2264-1705
 Correo: areatecnica@insuma.com.ni

Elaborar Cheque a Nombre de INSTITUTO DE SUELOS Y MATERIALES, S.A.
 Depositar a las cuentas Bancarias No.290-200098 (Córdobas), 291-200081 (Dólares) Banco La Fise Bancentro.

ANEXO A - 4 : Certificado de calidad asfalto AC-30 UNO

UNO NICARAGUA S.A.

Carretera hacia Refinería, contiguo a Unimar, Managua, Nicaragua

ORIGEN: TERMINAL BITUMEN PUERTO CORINTO

FECHA DE RPTE.: 27 SEPT., 2016

MUESTRA: 16092701

REF. A: ASTM D 3381 - TABLA 2

ANALIZADO POR: G. RUIZ

No. REPORTE: 16 - 026 AC30

CLIENTE: PUMA ENERGY

PRODUCTO: AC30

REPORTE DE ANÁLISIS

N°	ANALISIS	METODO ASTM	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES
1	VISCOSIDAD, 140°F (60°C); P	D 4402	3,360	3,000 ± 600
2	VISCOSIDAD, 275°F, (135°C); cSt	D 4402	525.9	350 min.
3	PENETRACIÓN 25°C, 100g, 5S; mm/10	D 5	54.0	50 min.
4	PUNTO DE DESTELLO, COC; °C	D 92	338	230 min.
5	PUNTO DE ABLANDAMIENTO; °C	D 36	52.8	N.E.
6	GRAVEDAD ESPECIFICA, A 60°F	D 70	1.037	N.E.
7	DUCTILIDAD A 25°C, cm	D 113	>150	40 min.
8	SOLUBILIDAD IN TRICLOROETILENO, min, %	D 2042	99.96	99 min.
	ENSAYOS AL RESIDUO DE RTFOT	D 1754		
9	VISCOSIDAD, 140°F (60°C), P	D 4402	7,820	12,000 max.
10	PERDIDA DE MASA, % Wt	D 2872	0.039	1.000 max.
11	DUCTILIDAD A 25°C, cm	D 113	150+	40 min.

Observaciones:



GUILLERMO RUIZ

Tecnico de Laboratorio y Operaciones de Asfalto
Planta Corinto, Nicaragua
UNO, Nicaragua S.A.

FO-BTCC-01/ REV 0

ANEXO A - 5 : Certificado de calidad asfalto PG-76-22 PUMA



SOLTEC

Soluciones Técnicas Sol, S.A.

KM 14 Carretera a Masaya, 8 km al este, hacia Veracruz
Masaya, Nicaragua.

Certificado de Calidad Asfalto Modificado con Polímero Tipo I

Fecha de entrega:	14 de Marzo de 2016	Fecha de Producción:	13 de Marzo de 2016
Tanque:	Tanque asfalto #2		
Cliente:	PAVINIC		

Prueba	Método de prueba	Resultado	Especificaciones	
			Min	Max
Análisis al Asfalto Original				
Punto de inflamación Cleveland (°C)	ASTM D-92	>300	230	-
Viscosidad Brookfield a 135 °C SC4-27 6rpm (cP)	ASTM D-4402	2738	-	3000
Módulo Reológico de Corte Dinámico a 82°C [G*/senδ] (KPa)	ASTM D-7175	1,139	1	-
Angulo de fase (δ) a 82°C	ASTM D-7175	61,22	Reportar	
Análisis del residuo de la prueba de la película delgada RTFO ASTM D2872				
Pérdida de masa por calentamiento a 163°C, %	ASTM D-2872	Despreciable	-	1
Módulo Reológico de Corte Dinámico a 82°C [G*/senδ] (KPa)	ASTM D-7175	2,329	2,2	-
Angulo de fase (δ) a 82°C	ASTM D-7175	55,32	Reportar	
Análisis del residuo de la prueba de envejecimiento a presión PAV ASTM D-6521				
Módulo Reológico de Corte Dinámico a 34°C [G*/senδ] (KPa)	ASTM D-7175	834,3	-	5000
Rigidez en CREEP A -12°C, 60s S(t), (MPa)	ASTM D-6648	178,185	-	300
Valor m(t) A-12°C, 60s S(t), adimensional	ASTM D-6648	0,308	0,3	-


Ricardo Umazo Fuentes
Gerente de Planta
Tel: 2279-2109



ANEXO A - 6 : Especificación de Granulometría D 3515 - 01



Designation: D 3515 – 01

Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures¹

This standard is issued under the fixed designation D 3515; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This specification covers hot-mixed, hot-laid asphalt, tar, emulsified asphalt, and recycled bituminous paving mixtures for base, binder, leveling, and surface courses.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 127 Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate²
- C 128 Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate²
- C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates²
- D 5 Test Method for Penetration of Bituminous Materials³
- D 8 Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements
- D 75 Practice for Sampling Aggregates³
- D 140 Practice for Sampling Bituminous Materials³
- D 242 Specification for Mineral Filler for Bituminous Paving Mixtures³
- D 448 Classification for Sizes of Aggregate for Road and Bridge Construction³
- D 490 Specification for Road Tar³
- D 546 Test Method for Sieve Analysis of Mineral Filler for Bituminous Paving Mixtures³
- D 692 Specification for Coarse Aggregate for Bituminous Paving Mixtures³
- D 946 Specification for Penetration-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction³
- D 977 Specification for Emulsified Asphalt³

- D 979 Practice for Sampling Bituminous Paving Mixtures³
- D 995 Specification for Mixing Plants for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures³
- D 1073 Specification for Fine Aggregate for Bituminous Paving Mixtures³
- D 1856 Test Method for Recovery of Asphalt from Solution by Abson Method³
- D 2171 Test Method for Viscosity of Asphalts by Vacuum Capillary Viscometer³
- D 2172 Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures³
- D 2489 Test Method for Degree of Particle Coating of Bituminous-Aggregate Mixtures³
- D 3203 Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures³
- D 3381 Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction³
- D 4318 Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils⁴
- D 4552 Practice for Classifying Hot-Mix Recycling Agents³

3. Terminology

3.1 Definitions are in accordance with Terminology D 8.

3.2 Definitions:

3.2.1 *bitumen aggregate for recycling*—bituminous pavement or paving mixture removed from its original location and reduced by suitable means to such particle size as may be required for use in hot-mixed, hot-laid recycled bituminous paving mixtures.

NOTE 1—Alternative terminology may be used for bitumen aggregate for recycling so long as the terms are defined or understood to refer to the same material. Reclaimed asphalt pavement (RAP) that has been removed from its original location and reduced in size as may be required.

3.2.2 *hot-mixed, hot-laid paving mixtures*—mixtures of coarse and fine aggregate or fine aggregate alone, with or without mineral filler, uniformly mixed with asphalt, tar, or emulsified asphalt.

3.2.3 *hot-mixed, hot-laid recycled bituminous paving mixtures*—mixtures of bitumen aggregate for recycling with or without mineral aggregates and mineral filler, mixed at elevated temperatures with or without additional bitumen.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.23 on Plant-Mix Bituminous Surfaces and Bases.

Current edition approved June 10, 2001. Published August 2001. Originally published as D 3515 – 76a. Last previous edition D 3515 – 96.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.

4. Ordering Information

4.1 Orders for bituminous paving mixtures under this specification shall include the following information:

4.1.1 Type of bitumen (asphalt cement, tar cement, emulsified asphalt),

4.1.2 Grade of bitumen,

4.1.3 The composition of the bituminous paving mixture (dense mixture and mix designation; open mixture and mix designation; open graded friction course mixture and mix designation),

4.1.4 The maximum percentage of bitumen aggregate for recycling permitted in the mixture when limited, and

4.1.5 The percentage of crushed particles required in the aggregate if different from that specified in Specification D 692.

5. Aggregates

5.1 The aggregates shall be crushed stone, crushed slag, crushed gravel, and natural or manufactured sand conforming to the quality and crushed particle requirements of the appropriate ASTM specifications as follows:

5.1.1 *Coarse Aggregate*—Specification D 692.

5.1.2 *Fine Aggregate*—Specification D 1073.

NOTE 2—Other mineral aggregates, such as uncrushed gravel, crushed shell, and various synthetic aggregates, may be specified, provided that local experience or tests have demonstrated their ability to produce satisfactory bituminous paving mixtures.

5.2 Recommended grading requirements for coarse and fine aggregate may be selected from Classification D 448 and Specification D 1073, respectively. Other aggregate gradations may be used, provided that the combined coarse and fine aggregates, and filler, when used, produce a mixture that conforms to the requirements for grading of total aggregate prescribed in Table 1.

5.3 When hot-mixed, hot-laid recycled bituminous mixtures are produced, aggregates conforming to 5.1 may be blended with the bitumen aggregate for recycling as necessary to produce the result required by 5.2.

6. Mineral Filler

6.1 The mineral filler shall conform to Specification D 242.

7. Bitumen

7.1 When asphalt cement is used, it shall conform to either Specifications D 3381 or D 946.

NOTE 3—The viscosity grade or the penetration grade to be used depends on the type of construction, climatic conditions, and amount and nature of traffic. The required viscosity grade or penetration grade should be specified.

7.2 When tar cement is used, it shall conform to Specification D 490.

NOTE 4—The grade to be used shall be RT-10, RT-11, or RT-12, depending upon the type of construction, climatic conditions, and the amount and nature of traffic. The required grade should be specified.

7.3 When emulsified asphalt is used it shall conform to Specification D 977, Grade HFMS-2h or MS-2h.

7.4 When specifically approved by the purchaser, other types of emulsified asphalt may be used, if experience has

shown that satisfactory performance will result.

7.5 When hot-mixed, hot-laid recycled bituminous paving mixtures are produced, bitumen conforming to Specifications D 946, D 977, or D 3381 or recycling agents with or without bitumen conforming to Practice D 4552 shall be added to the asphalt bitumen for recycling as necessary.

8. Composition of Bituminous Paving Mixtures

8.1 The mixture shall conform to one of the compositions by weight given in Table 1 or Table 2.

NOTE 5—The mix designation selected should be determined by the intended use, thickness of paving courses, and desired texture.

8.1.1 Compositions shown in Table 1 or Table 2 are based on the use of fine and coarse aggregates having approximately the same bulk specific gravities; grading of the total aggregate, therefore, would be the same on either a weight or bulk volume basis. If the bulk specific gravities of coarse and fine aggregates differ by more than 0.20, it may be necessary to adjust the job mix aggregate grading slightly to account for the differences in volume.

8.2 A job mixture shall be selected that comes within the specification limits and that is suitable for the traffic, climatic conditions, and specific gravities of the aggregates used. Below the 2.36-mm (No. 8) sieve size, the job-mix formula grading curve shall be reasonably parallel to the curves of the grading limits as selected from Table 1.

8.3 Any variation from the job-mix formula in the grading of the aggregate, as shown by the sieve analyses of materials in the plant (Note 6) or, any variation from the job-mix formula in the bitumen content, as indicated by extraction tests of the finished mixture, greater than the percentage shown in Table 3, shall be investigated, and the conditions causing such variation shall be corrected (Note 7).

NOTE 6—It is recognized that the extraction test is a generally accepted and approved method for determining the composition of a bituminous concrete mixture. However, due to the relatively wide difference in the bitumen content and aggregate gradation sometimes found in individual samples of mixture taken from the same batch, as shown by extraction tests, it is recommended that the extraction test results on individual small samples be used as an indication of the mix composition, and not as the sole basis for acceptance or rejection of the product. Unless the mixing plant has automatic batching and recording equipment, it may be necessary to determine both aggregate gradation and bitumen content from extraction test samples.

NOTE 7—Application of tolerances may result in a gradation outside the composition limits in Table 1 or Table 2. This will not be cause for investigation.

9. Mixing Plant

9.1 The mixing plant shall conform to Specification D 995. When emulsified asphalt is used, the pugmill shall be adequately vented to allow for the escape of steam.

10. Mixing Plant Operation

10.1 *Aggregate Storage*—Aggregates furnished in different sizes or from different sources shall be kept separate, and adequate provision shall be made to keep them from becoming mixed or otherwise contaminated. Stockpiles shall be built and the materials removed therefrom in such a manner as to minimize size segregation.

TABLE 1 Composition of Bituminous Paving Mixtures

Sieve Size	<i>Dense Mixtures</i>								
	Mix Designation								
	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	D-9
	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4) (Sand Asphalt)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16) (Sheet Asphalt)
Grading of Total Aggregate (Coarse Plus Fine, Plus Filler if Required) Amounts Finer Than Each Laboratory Sieve (Square Opening), Weight %									
63-mm (2½ in.)	100	...	...	...	...	...	...	...	...
50-mm (2 in.)	90 to 100	100	...	...	...	...	...	...	...
37.5-mm (1½ in.)	...	90 to 100	100	...	...	...	...	...	...
25.0-mm (1 in.)	60 to 80	...	90 to 100	100	...	...	...	...	...
19.0-mm (¾ in.)	...	56 to 80	...	90 to 100	100	...	...	...	...
12.5-mm (½ in.)	35 to 65	...	56 to 80	...	90 to 100	100	...	...	...
9.5-mm (¾ in.)	...	...	...	56 to 80	...	90 to 100	100	...	...
4.75-mm (No. 4)	17 to 47	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 74	55 to 85	80 to 100	...	100
2.36-mm (No. 8) ^A	10 to 36	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67	65 to 100	...	95 to 100
1.18-mm (No. 16)	...	...	...	...	...	...	40 to 80	...	85 to 100
600-µm (No. 30)	...	...	...	...	...	...	25 to 65	...	70 to 95
300-µm (No. 50)	3 to 15	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23	7 to 40	...	45 to 75
150-µm (No. 100)	...	...	...	...	...	...	3 to 20	...	20 to 40
75-µm (No. 200) ^B	0 to 5	0 to 6	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10	2 to 10	...	9 to 20
Sieve Size	<i>Open Mixtures</i>								
	Mix Designation								
	0-1	0-2	0-3	0-4	0-5	0-6	0-7	0-8	0-9
	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4) (Sand Asphalt)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16) (Sheet Asphalt)
Base and Binder Courses					Surface and Leveling Courses				
63-mm (2½ in.)	100	...	...	...	...	...	...	...	...
50-mm (2 in.)	90 to 100	100	...	...	...	...	...	...	...
37.5-mm (1½ in.)	...	90 to 100	100	...	...	...	...	...	...
25.0-mm (1 in.)	40 to 70	...	90 to 100	100	...	...	...	...	...
19.0-mm (¾ in.)	...	40 to 70	...	90 to 100	100	...	...	...	...
12.5-mm (½ in.)	18 to 48	...	40 to 70	...	85 to 100	100	...	...	...
9.5-mm (¾ in.)	...	18 to 48	...	40 to 70	60 to 90	85 to 100	...	...	...
4.75-mm (No. 4)	5 to 25	6 to 29	10 to 34	15 to 39	20 to 50	40 to 70	...	100	...
2.36-mm (No. 8) ^A	0 to 12	0 to 14	1 to 17	2 to 18	5 to 25	10 to 35	...	75 to 100	...
1.18-mm (No. 16)	...	...	...	...	3 to 19	5 to 25	...	50 to 75	...
600-µm (No. 30)	0 to 8	0 to 8	0 to 10	0 to 10	...	...	...	28 to 53	...
300-µm (No. 50)	...	...	...	...	0 to 10	0 to 12	...	8 to 30	...
150-µm (No. 100)	...	...	...	...	...	...	...	0 to 12	...
75-µm (No. 200) ^B	...	...	...	...	...	...	...	0 to 5	...
Bitumen, Weight % of Total Mixture ^C									
	2 to 7	3 to 8	3 to 9	4 to 10	4 to 11	5 to 12	6 to 12	7 to 12	8 to 12
Suggested Coarse Aggregate Sizes									
	3 and 57	4 and 67 or 4 and 68	5 and 7 or 57	67 or 68 or 6 and 8	7 or 78	8			

^AIn considering the total grading characteristics of a bituminous paving mixture, the amount passing the 2.36-mm (No. 8) sieve is a significant and convenient field control point between fine and coarse aggregate. Gradings approaching the maximum amount permitted to pass the No. 8 sieve will result in pavement surfaces having comparatively fine texture, while coarse gradings approaching the minimum amount passing the No. 8 sieve will result in surfaces with comparatively coarse texture.

^BThe material passing the 75-µm (No. 200) sieve may consist of fine particles of the aggregates or mineral filler, or both but shall be free of organic matter and clay particles. The blend of aggregates and filler, when tested in accordance with Test Method D 4318, shall have a plasticity index of not greater than 4, except that this plasticity requirement shall not apply when the filler material is hydrated lime or hydraulic cement.

^CThe quantity of bitumen is given in terms of weight % of the total mixture. The wide difference in the specific gravity of various aggregates, as well as a considerable difference in absorption, results in a comparatively wide range in the limiting amount of bitumen specified. The amount of bitumen required for a given mixture should be determined by appropriate laboratory testing or on the basis of past experience with similar mixtures, or by a combination of both.

10.2 Old Bituminous Pavement—Bitumen aggregate for recycling shall be reduced in size so that the maximum aggregate particle size conforms with 8.1 and shall be kept separate from aggregate stockpiles. Adequate provisions shall be made to keep bitumen aggregate for recycling from being mixed with aggregates or otherwise contaminated.

10.3 Preparation of Bitumen—The bitumen shall be maintained at a temperature at which it can be properly handled through the pumping system and uniformly distributed throughout the mixture. At no time during the processing, from storage to mixing, will temperature of the bitumen be allowed to exceed the following:

TABLE 2 Composition of Open Graded Friction Course Mixtures

Sieve Size	Mix Designation	
	Type I	Type II
Percent Passing		
19.0 mm (¾ in.)	100	100
12.5 mm (½ in.)	100	90 to 100
9.5 mm (¾ in.)	90 to 100	60 to 100
4.75 mm (No. 4)	30 to 50	15 to 40
2.36 mm (No. 8) ^A	5 to 15	4 to 12
75 µm (No. 200) ^B	2 to 5	2 to 5
Bitumen, weight % of total mixture ^C		
	5–8½	4½–8
Suggested Aggregate Sizes from Specification D 448		
	8 and 9 or 89	7 and 89 or 7 and 8

^AIn considering the total grading characteristics of the bituminous paving mixture, the amount passing the No. 8 (2.36-mm) sieve is a significant and convenient field control point between fine and coarse aggregate. In open-graded friction course mixtures, the amount passing the No. 8 shall be limited to that required to provide a chocking of the coarser particles.

^BThe material passing the 75-µm (No. 200) sieve may consist of fine particles of the aggregates or mineral filler, or both but shall be free of organic matter and clay particles. The blend of aggregates and filler, when tested in accordance with Test Method D 4318, shall have a plasticity index of not greater than 4, except that this plasticity requirement shall not apply when the filler material is hydrated lime or hydraulic cement.

^CThe quantity of bitumen is given in terms of weight % of the total mixture and is applicable to a variety of aggregates of conventional specific gravities, approximately 2.50–2.80. The wide difference in the specific gravity of some aggregates, as well as a considerable difference in absorption, may require bitumen contents outside the range shown. The amount of bitumen required for a given mixture should be determined by appropriate laboratory testing or on the basis of past experience with similar mixtures, or by a combination of both.

TABLE 3 Tolerances from Job-Mix Formula

Sieve Size	Tolerances, %
12.5 mm (½ in.) and larger	±8
9.5 mm (¾ in.) and 4.75 mm (No. 4)	±7
2.36 mm (No. 8) and 1.18 mm (No. 16)	±6
600 µm (No. 30) and 300 µm (No. 50)	±5
75 µm (No. 200)	±3
Bitumen content, weight % of total mixture	±0.5

10.4 Preparation and Handling of Mineral Aggregates—Each size aggregate shall be separately fed by feeders to the cold elevator or elevators in proper proportion and at a rate to permit correct and uniform temperature control of the heating and drying operation. The aggregate shall be dried and delivered to the mixer at a temperature such that the mixture will be produced at a temperature within the range suited to the bitumen used, as follows:

Bitumen	Temperature Range	
	°C	°F
Asphalt cement (conventional mixes)	121.1 to 162.7	250 to 325
Asphalt cement (open graded friction mixes)	104.5 to 126.6	220 to 260
Tar cement	79.4 to 107.2	175 to 225
Emulsified asphalt	104.5 to 126.6	220 to 260

The temperature between those limits shall be regulated according to the grade and viscosity characteristics of the

bitumen, ambient temperature, and workability of the mixture. Aggregates in the hot bins shall not contain moisture to such an extent as to cause the mixture to foam, slump, or segregate during hauling and placing operations.

10.5 Preparation and Handling of Bitumen Aggregate for Recycling—Bitumen aggregate for recycling shall be fed into the plant in proper proportion at a location and rate to permit correct and uniform temperature control of the heating and drying operation. It shall be delivered to the mixer at a temperature such that the mixture will be produced within the range specified in 10.4.

10.6 Preparation of Mixture—The proportions of the components of the mixture, within the limits specified, shall be regulated so as to produce a satisfactory mixture. The sequence in which the several aggregates or the several aggregates and asphalt aggregate for recycling shall be drawn or weighed may vary under different conditions. The bitumen shall be added in an evenly spread sheet over the length of the mixer box in a batch plant, or shall be spread evenly across the mixer box in a continuous mix plant.

10.6.1 The mixing shall be accomplished in the shortest time that will produce a satisfactory mixture. Mixing time shall be specified within the following limits, except that the minimum may be determined as provided in 10.6.2 and the maximum dry mixing time may be determined as provided by 10.6.3.

10.6.1.1 Batch Plants—0 to 10-s dry mixing followed by 25 to 50-s additional mixing after the addition of the bitumen.

10.6.1.2 Continuous Mix Plants—25 to 60 s based on the following equation:

$$\text{Mix time, s} = \frac{\text{pugmill capacity, (kg) lb}}{\text{pugmill output, (kg/s) lb/s}} \quad (1)$$

10.6.2 Minimum mixing time may be established on the percentage of coated particles as determined by Test Method D 2489. The minimum values for percentage of coated particles used to establish the minimum mixing time shall be set by the engineer. These values will vary with aggregate gradation, particle shape, and surface texture, and with the bitumen content and use for which the mix is intended.

10.6.3 When any component of the mixture except bitumen is not heated in the dryer, the dry mixing period may be extended as necessary so that the mixture will be produced at a uniform temperature within the range specified in 10.4.

10.7 Mixing Plant Inspection—The engineer or his authorized representatives shall have access at any time to all parts of the mixing plant in order to ensure the manufacture of the mixture in strict accordance with this specification. In order that accurate and sufficiently large samples of aggregate may be obtained from the hot aggregate bins, easy and safe access shall be provided to the location on the plant where such samples may be taken.

10.8 Special Requirements for Asphalt Mix from Surge or Storage Bins—Asphalt cement recovered from the mix shall comply with Alternative 1 or 2 as follows:

Alternative 1 for Penetration Graded Asphalt Cement, Specification D 946	
Grade 200–300	Penetration Equal to or More Than 74

120–150	50
85–100	40
60–70	31
40–50	22

Alternative 2
for Viscosity Graded Asphalt Cement, Specification D 3381

Grade	Viscosity 140°F(60°C), P Equal to or Less Than
AC-2.5 and AR-1000	1 250
AC-5 and AR-2000	2 500
AC-10 and AR-4000	5 000
AC-20 and AR-8000	10 000
AC-40 and AR-16000	20 000

Samples for these tests shall be taken from trucks loaded from the bin. The addition of solvent according to procedures of Test Methods D 2172 shall be started within 4 h of sampling or the samples shall be placed in a cold storage facility and maintained at 0°C (32°F) or lower until testing is started. Where delivery to cold storage will take more than 4 h, one of the following procedures shall be used:

(a) Chill the samples by placing in plastic coolers containing dry ice. Maintain dry ice in coolers during delivery to the laboratory.

(b) Place the sample in a gallon can containing dry ice. Cap the can immediately with a lid that has a pinhole in it. When pressure buildup ceases, solder the pinhole. Keep the can tight during delivery to laboratory.

10.8.1 The following storage times will be permitted until the results of tests on the recovered asphalt are available. The times may be increased or decreased on the basis of the test results.

	Time, h	
	Fine Mix ^A	Coarse Mix ^B
Untreated asphalt, air in bin	12	6
Treated asphalt, ^C air in bin; untreated asphalt, inert gas in bin	36	18
Treated asphalt, ^C inert gas in bin	96	72

^A Dense Mixtures: ¾ in., ½ in., ⅜ in., No. 4, and No. 16.

^B Dense Mixtures: 2 in., 1½ in., and 1 in.

^C Treated with Dow-Corning Fluid DC-200 at rate of approximately 30 cm³ (1 oz)/18.93 m³ (5000 gal) of asphalt.

NOTE 8—An arbitrary separation point has been made above, based on ASTM Composition Requirements for Dense Mixtures, between the coarse and fine mixes. It has been observed that the coarser mixes undergo a faster rate of hardening when stored due to a higher volume of voids in

those mixes. In addition, “open mixtures” generally harden faster than “dense mixtures” and, therefore, the storage time limits given above for coarse mixes should also be used for “open mixtures.” The arbitrary separation point should be adjusted as data on percent air voids of laboratory compacted specimens become available. A value of 10 % air void content is suggested as an arbitrary separation point between coarse and fine mixes, with coarse mixes having an air void content above 10 % and fine mixes having an air void content less than 10 %. This value is arbitrary and may also require adjustment as additional mix design data becomes available.

11. Methods of Sampling and Testing

11.1 Sample all material and determine the properties enumerated in this specification in accordance with the following ASTM standards:

11.1.1 *Sampling Mineral Aggregates*—Practice D 75.

11.1.2 *Sampling Bituminous Mixtures*—Practice D 979.

11.1.3 *Sieve Analysis of Aggregates*—Test Method C 136.

11.1.4 *Sieve Analysis of Mineral Filler*—Test Method D 546.

11.1.5 *Determination of Bitumen Content*—Test Methods D 2172. Determine the tar content in accordance with explanatory note appended to Test Methods D 2172.

11.1.6 *Sampling Bituminous Materials*—Practice D 140.

11.1.7 *Specific Gravity of Coarse Aggregate*—Test Method C 127.

11.1.8 *Specific Gravity of Fine Aggregate*—Test Method C 128.

11.1.9 *Plasticity Index*—Test Method D 4318.

11.1.10 *Percentage of Coated Particles*—Test Method D 2489.

11.1.11 *Recovery of Extracted Asphalt*—Test Method D 1856.

11.1.12 *Penetration of Recovery Asphalt*—Test Method D 5.

11.1.13 *Air Voids*—Test Method D 3203.

11.1.14 *Absolute Viscosity of Asphalts*—Test Method D 2171.

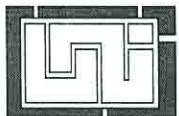
12. Keywords

12.1 aggregates; bitumen; bituminous mixtures; hot-laid; hot-mixed; mixing plant; sampling; specification; testing

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción
Secretaría Académica

CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción hace constar que el (a) **BR. ROQUE MENDOZA MARCOS LENIN**, Carnet **No.98-11045-8**, de conformidad con el Reglamento de Régimen Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERIA CIVIL**.

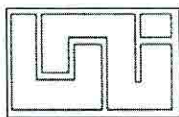
Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a los catorce días del mes de Junio del año Dos Mil Dieciséis.



ING. EFRAIN CHAMORRO BLANDON

SECRETARIO DE FACULTAD

CC: Archivo
TECHB/nicols.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARÍA
Hoja de Matrícula

Nombre: Roque Mendoza Marcos Lenin
Carrera: ING: CIVIL
Turno: DIURNO SABATINO

Carnet: 98-11045-8.
Plan: 97
Trimestre: Primero 2017

Código	Materia	Grupo	Aula
-----	-----Ultima línea-----	-----	-----

28/04/2017

Marcos Roque Mendoza
Estudiante




Funcionario FTC

MATRICULA PARA MONOGRAFIA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SOLVENCIA ECONÓMICA

Fecha: 02/05/17.

Nombre del estudiante: MARCOS LENIN ROQUE MENDOZA.

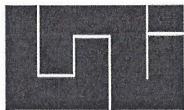
Numero de carnet: 98-11045-8.

Carrera: INGENIERIA CIVIL.

Taller monográfico: SERVICIOS MONOGRAFICOS, Modalidad
Sabatina.

Firma y Sello
Delegado Administrativo





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

HERRERA LARGAESPADA JAMES FRANCISCO

Carne: **2002-14535** Turno **Diurno** Plan de Estudios **97** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERIA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y siete días del mes de abril del año dos mil diecisiete.

Atentamente,



Dr. Francisco Efraín Chamorro Blandón
Secretario de Facultad

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 10-mar-2017